



**Universidade de Aveiro** Departamento de Ambiente e Ordenamento  
2016

**ANA MARGARIDA  
CASTRO VALES**

**SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA  
IMPLEMENTADO SEGUNDO A NORMA ISO 50001**





**ANA MARGARIDA  
CASTRO VALES**

## **IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA SEGUNDO A NORMA ISO 50001**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizado sob a orientação científica do Prof. Doutor Vítor António Ferreira da Costa, Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e coorientação científica do Prof. Miguel da Silva Oliveira, Assistente Convidado do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.





## O júri

Presidente

**Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Vítor António Ferreira da Costa**

Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro  
(orientador)

**Licenciada Catarina Luísa Pina Oliveira Sá**

Especialista, *Verallia* Portugal  
(arguente)



## **Agradecimentos**

À GALP Energia e à Universidade de Aveiro, que proporcionaram esta oportunidade de integrar o Programa de Estágios GALP 20-20-20.

À *Verallia* pela oportunidade de desenvolver este trabalho nas suas instalações.

À Eng.<sup>a</sup> Catarina Sá, ao Eng.º António José Coelho e ao Eng.º Pedro Ventura pela atenção e apoio durante o estágio.

A todos os colaboradores da *Verallia* pela simpatia, disponibilidade e apoio.

Aos Professores Doutor Vítor António Ferreira da Costa e Miguel da Silva Oliveira pela orientação na realização do trabalho.

À minha mãe e amigos, pelo carinho e motivação.



## Palavras-chave

Eficiência energética, Norma ISO 50001, Sistema de gestão de energia, *Verallia*.

## Resumo

A *Verallia* Portugal desenvolve a sua atividade na área da indústria vidreira, com a produção de embalagens de vidro para a indústria alimentar. Este trabalho teve como objetivo a implementação de um sistema de gestão de energia na *Verallia*, visando a melhoria contínua do seu desempenho energético.

O sistema de gestão de energia foi desenvolvido de acordo com a Norma ISO 50001, assegurando o cumprimento dos seus requisitos no que diz respeito a: responsabilidade da gestão de topo, política energética, planeamento energético, implementação e operação, verificação e revisão pela gestão. O estágio em causa teve como foco principal o estabelecimento dos requisitos relacionados com o planeamento energético, implementação e operação, e verificação.

Para a realização deste trabalho foram analisados os dados energéticos da *Verallia* e foram acompanhadas, de forma ativa, uma auditoria energética externa e as auditorias interna e externa de concessão da certificação de acordo com a Norma ISO 50001.

Inicialmente, a *Verallia* não tinha um sistema de gestão de energia funcional concretamente implementado, no entanto, utilizava um *software* de supervisão energética e tinha aplicado várias medidas de utilização racional de energia. Aquando da conclusão do estágio, a implementação do sistema de gestão de energia foi dada como concluída, a certificação externa segundo a Norma ISO 50001 foi concedida, e iniciou-se a fase de manutenção.

Parte das ações de melhoria propostas em auditoria energética foram implementadas, trazendo uma redução do consumo de energia de fusão de cerca de 7 %.



**Keywords**

Energy efficiency, Energy management system, ISO 50001 Standard, *Verallia*.

**Abstract**

*Verallia* Portugal produces glass containers for food packaging. The main goal of this internship was the implementation of an energy management system at *Verallia*, which aimed for the continuous improvement of its energy performance. The energy management system was developed according to the ISO 50001 standard, ensuring compliance with its requirements in respect to: responsibility of top management, energy policy, energy planning, implementation and operation, verification and management review. This internship focused mainly on the establishment of technical requirements related to the energy planning, implementation and operation, and verification.

During the internship, energy data from the organization's archives was analyzed, as well as data from the external energy audit.

Initially, the organization did not have a functional energy management system, but an energy supervision software was in use and several measures of rational use of energy had been implemented. At the end of the internship, the implementation of the energy management system was considered finished, the certification by an external organization according to ISO 50001 standard was granted, and the maintenance phase started.

Some of the energy savings measures proposed in the external energy audit report were implemented, resulting in a reduction of 7 % in furnace energy consumption.





## Índice

<b>Lista de acrónimos e siglas.....</b>	<b>VI</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Contexto.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Objetivos do trabalho.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3. Metodologia.....</b>	<b>1</b>
<b>1.4. Estrutura do relatório .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Enquadramento e normativo aplicável.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Enquadramento geral.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. Gestão de energia.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3. Sistemas de gestão de energia.....</b>	<b>9</b>
<b>2.4. Norma ISO 50001.....</b>	<b>10</b>
<b>2.5. Auditoria energética.....</b>	<b>14</b>
<b>2.6. Sistemas de monitorização remota dos consumos energéticos.....</b>	<b>15</b>
<b>3. Caracterização do caso de estudo .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Apresentação da empresa.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2. Processo produtivo .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.1. Composição .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2. Fusão .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.3. Conformação.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.4. Tratamentos .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.5. Processos a jusante.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.6. Instalação e equipamentos .....</b>	<b>21</b>

3.3.	Impacto ambiental .....	21
3.4.	Identificação do problema .....	23
3.5.	Situação de implementação das MTD .....	24
3.6.	Situação de implementação de um SGE .....	29
4.	Implementação do sistema de gestão de energia .....	35
4.1.	Responsabilidade da gestão .....	35
4.1.1.	Gestão de topo .....	35
4.1.2.	Representante da gestão de topo .....	35
4.2.	Política energética .....	37
4.3.	Planeamento energético .....	38
4.3.2.	Avaliação energética .....	40
4.3.3.	Consumo energético de referência .....	60
4.3.4.	Indicadores de desempenho energético .....	60
4.3.5.	Objetivos, metas energéticas e planos de ação para a gestão de energia .....	64
4.4.	Implementação e operação .....	67
4.4.1.	Competências, formação e sensibilização .....	67
4.4.2.	Comunicação .....	67
4.4.3.	Documentação .....	67
4.4.4.	Controlo operacional .....	68
4.4.5.	Conceção .....	69
4.4.6.	Aprovisionamento de energia, seus serviços, produtos e equipamentos .....	69
4.5.	Verificação .....	69
4.5.1.	Monitorização, medição e análise .....	69
4.5.2.	Avaliação da conformidade com exigências legais e outros requisitos .....	72
4.5.3.	Auditoria interna ao sistema de gestão de energia .....	72

4.5.4. Não conformidades, ações corretivas e ações preventivas .....	72
4.5.5. Controlo dos registos .....	72
4.6. Revisão pela gestão .....	72
4.7. Outros contributos .....	73
4.7.1. Determinação do ponto ótimo de incorporação de casco na composição ....	73
4.7.2. Determinação da influência da sonda de O <sub>2</sub> no consumo de energia do forno. .....	73
4.7.3. Avaliação de oportunidades de melhoria do desempenho energético dos compressores .....	74
5. Conclusões.....	79
5.1. Discussão de resultados e conclusões.....	79
5.2. Limitações .....	80
5.3. Perspetivas de trabalhos futuros .....	81
Referências bibliográficas .....	83
Anexos .....	87

## Índice de figuras

Figura 1 – Certificados ISO 50001 emitidos no Mundo. ....	10
Figura 2 – SGE baseado na metodologia PDCA. ....	11
Figura 3 – Exemplo de sistema de monitorização remota. ....	16
Figura 4 – Organigrama da estrutura organizacional da <i>Verallia</i> . ....	17
Figura 5 – Fotografia aérea (A) e imagem de satélite (B) da unidade industrial da <i>Verallia</i> . ....	18
Figura 6 – Ilustração do processo produtivo da <i>Verallia</i> . ....	19
Figura 7 – Ilustração de um forno regenerativo de queima em “U”. ....	25
Figura 8 – Representação da inversão da queima num forno regenerativo. ....	26
Figura 9 – Diagrama da equipa de energia da <i>Verallia</i> . ....	36
Figura 10 – Diagrama conceptual do processo de planeamento energético. ....	39
Figura 11 – Fluxograma da avaliação energética. ....	41
Figura 12 – Fluxograma do processo produtivo da <i>Verallia</i> . ....	42
Figura 13 – Contribuições percentuais dos tipos de energia em termos de consumos e custos. ....	45
Figura 14 – Desagregação dos consumos de gás natural por equipamentos. ....	45
Figura 15 – Desagregação dos consumos de energia elétrica por equipamentos. ....	46
Figura 16 – Contribuição percentual do consumo de energia da fusão em 2015. ....	46
Figura 17 – Ilustração do balanço energético do Forno 1. ....	47
Figura 18 – Ilustração do balanço energético do Forno 2. ....	48
Figura 19 – Consumo específico de energia global da <i>Verallia</i> nos últimos quatro anos. ....	48
Figura 20 – Consumo específico de energia dos fornos da <i>Verallia</i> em 2015. ....	49
Figura 21 – Diagrama de Pareto relativo a consumos dos usos de energia (2015). ....	52
Figura 22 – Níveis de indicadores de desempenho energético. ....	62
Figura 23 – Indicadores de desempenho energético de nível 2. ....	62
Figura 24 – Indicadores de desempenho energético de nível 1, 3, 4 e 5. ....	62
Figura 25 – Diagrama do processo de determinação e seguimento de IDE. ....	63
Figura 26 – Fotografia do interior do Forno 2 durante a obra. ....	66
Figura 27 – Fotografia das sondas de O <sub>2</sub> instaladas nas câmaras regeneradoras do Forno 2. ....	66
Figura 28 – Fotografia do parque de compressores de 3,5 bar. ....	75

## Índice de tabelas

Tabela 1 – Plano de estágio na <i>Verallia</i> .....	2
Tabela 2 – Requisitos do SGE segundo a Norma ISO 50001.....	12
Tabela 3 – Melhores técnicas de melhoria da eficiência energética disponíveis para a indústria vidreira. ....	24
Tabela 4 – Implicações da utilização de casco na composição do vidro de embalagem.....	27
Tabela 5 – Situação de implementação dos requisitos do SGE na <i>Verallia</i> . ....	30
Tabela 6 – Usos de energia no processo produtivo da <i>Verallia</i> . ....	43
Tabela 7 – Consumos de cada tipo de energia em 2015 na <i>Verallia</i> . ....	43
Tabela 8 – Consumos e custos específicos anuais para os diferentes tipos de energia.....	44
Tabela 9 – Características dos fornos de fusão da <i>Verallia</i> . ....	47
Tabela 10 – Avaliação de significância – Critério de consumo substancial de energia. ....	50
Tabela 11 – Graus de significância dos usos de energia.....	50
Tabela 12 – Resultado da avaliação de significância dos usos de energia. ....	50
Tabela 13 – Matriz de avaliação de significância dos usos de energia.....	51
Tabela 14 – Variáveis relevantes para o consumo dos usos significativos de energia.....	52
Tabela 15 – Variações no consumo de energia por modificações de parâmetros de fusão. ....	53
Tabela 16 – Coeficiente de correlação da regressão linear com várias variáveis.....	55
Tabela 17 – Lista de recomendações para a melhoria do desempenho energético. ....	56
Tabela 18 – Critérios de priorização das oportunidades de melhoria do desempenho energético.....	56
Tabela 19 – Classificação de prioridades de intervenção.....	57
Tabela 20 – <i>Benchmarking</i> externo relativo ao consumo de energia. ....	58
Tabela 21 – Lista de oportunidades de melhoria do desempenho energético priorizada.....	59
Tabela 22 – Determinação dos indicadores de desempenho energético de nível 5. ....	63
Tabela 23 – Objetivos e metas de energia para 2016. ....	64
Tabela 24 – Planos de ação para a energia em 2016. ....	65
Tabela 25 – Plano de medição dos consumos de energia na <i>Verallia</i> .....	70
Tabela 26 – Poupança de energia no Forno 1 devido à utilização da sonda de O <sub>2</sub> . ....	74
Tabela 27 – Parque de compressores de 3,5 bar da <i>Verallia</i> . ....	74
Tabela 28 – Critérios para a priorização da intervenção no parque de compressores. ....	75
Tabela 29 – Prioridades de intervenção no parque de compressores de 3,5 bar. ....	76
Tabela 30 – Comparação de opções de reparação do compressor C100.....	77

## Lista de acrónimos e siglas

AIVE – Associação dos Industriais de Vidro de Embalagem

CEE – Consumo Específico de Energia

EMAS – do inglês *Environmental Managment and Audit Scheme* (Regulamento CE n.º 1221/2009)

FAD – do inglês *Free Air Delivery*

IDE – Indicadores de Desempenho Energético

ISO – Organização Internacional para a Normalização, do inglês *International Organization for Standardization*

KPI – do inglês *Key Performance Indicator*

OHSAS – do inglês *Occupational Health and Safety Assessment Services*

PDCA – do inglês *Plan-Do-Check-Act*

SCADA – Sistemas de Controlo, Supervisão e Aquisição de Dados, do inglês *Supervision Control And Data Acquisition System*

SGCIE – Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia

SGE – Sistema de Gestão de Energia

SIGI – Sistema de Gestão Integrado

tep – toneladas equivalentes de petróleo

UE – União Europeia







## 1. Introdução

### 1.1. Contexto

Neste documento apresenta-se o Relatório de Estágio realizado no âmbito da unidade curricular Dissertação/Projeto/Estágio do Mestrado em Sistemas Energéticos Sustentáveis da Universidade de Aveiro.

O estágio, com duração de seis meses, foi realizado ao abrigo de um protocolo de cooperação entre a Galp Energia e a Universidade de Aveiro, integrado no Programa Galp 20-20-20. Ao estágio propriamente dito, seguiram-se mais seis meses de trabalho realizado em colaboração com a empresa de acolhimento.

O programa Galp 20-20-20 tem por inspiração os objetivos 20-20-20 definidos pela Comissão Europeia. Com este programa a Galp Energia promove a realização anual de estágios por estudantes universitários em empresas suas clientes, visando o desenvolvimento de sistemas e comportamentos para a utilização eficiente da energia, aplicáveis na indústria e edifícios.

Este estágio foi realizado na *Verallia* (anteriormente designada *Saint-Gobain Mondego*), empresa produtora de vidro de embalagem para a indústria alimentar. O tema de estágio – Sistema de Gestão de Energia Implementado Segundo a Norma ISO 50001 – foi atribuído tendo em conta o intuito do programa e as preocupações e necessidades da empresa.

No seguimento deste capítulo, apresentam-se os principais objetivos a atingir na realização do estágio, a metodologia adotada e a estrutura geral do relatório contido neste documento.

### 1.2. Objetivos do trabalho

O objetivo geral deste estágio foi o desenvolvimento de metodologias e procedimentos de trabalho, segundo o referencial ISO 50001, que permitissem à *Verallia* implementar e manter um sistema de gestão de energia (SGE).

A concretização do objetivo geral envolveu o cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

- Caracterização da *Verallia* enquanto consumidor de energia;
- Estabelecimento dos requisitos da Norma ISO 50001;
- Apoio ao processo de certificação energética da *Verallia*.

### 1.3. Metodologia

Para o cumprimento dos objetivos apresentados foi elaborado um plano de estágio baseado nos requisitos da Norma ISO 50001 e nas necessidades imediatas da *Verallia*. Programou-se a realização de várias tarefas, compondo as 10 fases de trabalho apresentadas na Tabela 1, por ordem cronológica de abordagem prevista. De seguida, descreve-se sucintamente o que se pretende com as tarefas planeadas.

Tabela 1 – Plano de estágio na *Verallia*.

Plano de estágio	
<b>Fase 1</b>	<b>Levantamento energético</b> T1 – Recolha de informação geral T2 – Recolha e análise de dados energéticos T3 – Análise da situação face aos requisitos da Norma ISO 50001
<b>Fase 2</b>	<b>Revisão da monitorização, medição e análise energética</b> T4 – Levantamento de contadores e equipamentos de medição de energia T5 – Acompanhamento das atividades de monitorização, medição e análise de energia T6 – Desenvolvimento do sistema de supervisão dos consumos energéticos
<b>Fase 3</b>	<b>Atualização da análise energética</b> T7 – Acompanhamento da auditoria energética externa T8 – Identificação das áreas com usos significativos de energia T9 – Identificação das variáveis relevantes para os consumos energéticos T10 – Atualização de indicadores de desempenho energético T11 – Definição do consumo energético de referência e <i>baselines</i> T12 – Identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético T13 – Projeção dos consumos energéticos futuros
<b>Fase 4</b>	<b>Levantamento de controlos operacionais</b> T14 – Identificação de critérios de operação para usos significativos de energia
<b>Fase 5</b>	<b>Preparação da documentação do SGE</b> T15 – Elaboração de procedimentos e registos para a documentação do SGE
<b>Fase 6</b>	<b>Estudo da eficiência energética do processo de fusão</b> T16 – Determinação do ponto ótimo de incorporação de casco na composição T17 – Determinação da influência da sonda de O <sub>2</sub> no consumo energético do forno
<b>Fase 7</b>	<b>Estudo da eficiência energética do sistema de ar comprimido</b> T18 – Avaliação de oportunidades de melhoria do desempenho energético dos compressores
<b>Fase 8</b>	<b>Preparação para a certificação</b> T19 – Realização de uma auditoria interna ao SGE
<b>Fase 9</b>	<b>Submissão para a concessão da certificação energética</b> T20 – Acompanhamento da auditoria de concessão da certificação
<b>Fase 10</b>	<b>Elaboração do relatório final</b> T21 – Elaboração do relatório final

### Fase 1: Levantamento energético

#### T1 – Recolha de informação geral

Proceder ao levantamento de informação sobre o sector, a área de negócio, os processos produtivos, os processos de distribuição, os principais produtos, as matérias-primas utilizadas e os resíduos produzidos.

## **T2 – Recolha e análise de dados energéticos**

Conhecer as condições gerais de utilização da energia na empresa, realizando a:

- Caracterização da produção;
- Caracterização da unidade de produção e o seu funcionamento;
- Identificação das formas de energia utilizadas;
- Quantificação dos consumos energéticos e respetivos custos;
- Determinação, ou estimativa, dos consumos específicos de energia por sectores, processos e equipamentos;
- Análise das medidas de gestão de energia existentes (estabelecimento de objetivos energéticos, ações de manutenção preventiva, ações de instrução do pessoal sobre medidas de utilização racional de energia, etc.).

## **T3 – Análise da situação face aos requisitos da Norma ISO 50001**

Avaliar a situação da empresa em relação aos requisitos expostos na Secção 4 da Norma ISO 50001, e proceder ao levantamento de necessidades de desenvolvimento de metodologias para o seu cumprimento.

## **Fase 2: Revisão da monitorização, medição e análise energética**

### **T4 – Levantamento de contadores e equipamentos de medição de energia**

Proceder ao levantamento dos equipamentos de medição instalados, consoante a tipologia e funções que possam desempenhar. Indicar necessidades de renovação ou implementação de novos equipamentos de medição e análise energética.

### **T5 – Acompanhamento das atividades de monitorização, medição e análise de energia**

Descrever em procedimento as práticas que garantem a monitorização, medição e análise dos consumos energéticos. Definir planos de calibração dos equipamentos, quando aplicáveis.

### **T6 – Desenvolvimento do sistema de supervisão dos consumos energéticos**

Desenvolver novos relatórios e telas na plataforma do sistema de monitorização remota, de forma a melhorar o tempo de resposta a desvios do consumo energético.

## **Fase 3: Atualização da análise energética**

### **T7 – Acompanhamento da auditoria energética**

Dar o apoio necessário ao auditor, e acompanhar a análise de campo e a elaboração do relatório da auditoria energética. Utilizar os resultados da auditoria na atualização da avaliação e caracterização energética da empresa.

### **T8 – Identificação das áreas com usos significativos de energia**

Identificar os principais consumidores de energia através dos consumos passados. Definir critérios de significância para a classificação dos usos significativos de energia.

#### **T9 – Identificação das variáveis relevantes para os consumos energéticos**

Identificar os fatores que influenciam o consumo energético global e de cada uso significativo de energia.

#### **T10 – Atualização de indicadores de desempenho energético**

Proceder a uma análise dos indicadores energéticos estabelecidos e à avaliação da sua eficácia na determinação do desempenho energético. Criação de novos indicadores, caso se justifique.

#### **T11 – Definição do consumo energético de referência e *baselines***

Definir a estratégia para o estabelecimento de um referencial que permita a observação da evolução do sistema de gestão de energia ao longo do tempo. Encontrar linhas base de consumo para os principais consumidores.

#### **T12 – Identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético**

Fazer o levantamento das oportunidades de melhoria já identificadas em diferentes contextos e avaliar o seu potencial de poupança energética. Definir critérios e estabelecer prioridades de intervenção.

#### **T13 – Projeção dos consumos energéticos futuros**

Estimar os consumos energéticos futuros através da análise estatística dos consumos passados e presentes. Criar cenários de variação do desempenho energético.

### **Fase 4: Levantamento de controlos operacionais**

#### **T14 – Identificação de critérios de operação e de manutenção para usos significativos de energia**

Recolher, rever e organizar a informação sobre a operação e manutenção efetiva dos equipamentos relacionados com os usos de energia considerados como significativos.

### **Fase 5: Preparação da documentação do SGE**

#### **T14 – Elaboração de procedimentos e registos para a documentação do SGE**

Criar procedimentos e impressos para o planeamento energético, avaliação energética, determinação e seguimento de indicadores de desempenho energético e controlo das operações relacionadas com os consumos de energia.

### **Fase 6: Estudo da eficiência energética do processo de fusão**

#### **T16 – Determinação do ponto ótimo de incorporação de casco na composição**

Determinar a percentagem de casco que deve ser incorporada de forma a conseguir o menor custo possível de composição e fusão do vidro.

#### **T17 – Determinação da influência da sonda de O<sub>2</sub> no consumo energético do forno**

Estimar a influência do controlo automático do ar de combustão, permitido pela sonda de O<sub>2</sub>, no consumo energético do forno, através da análise de dados energéticos anteriores e posteriores à colocação da sonda.

#### **Fase 7: Estudo da eficiência energética do sistema de ar comprimido**

##### **T18 – Avaliação de oportunidades de melhoria do desempenho energético dos compressores**

Identificar e avaliar oportunidades de melhoria do desempenho energético do parque de compressores de 3,5 bar. Analisar as propostas de atuação.

#### **Fase 8: Preparação para a certificação**

##### **T19 – Realização de uma auditoria interna ao SGE**

Auditar os processos relacionados com a gestão de energia, de forma identificar situações de incumprimento dos requisitos da norma. Desencadear ações corretivas no sentido de colmatar as falhas encontradas.

#### **Fase 9: Submissão para a concessão da certificação energética**

##### **T20 – Acompanhamento da auditoria de concessão da certificação**

Acompanhar a visita da entidade certificadora às instalações. Dar apoio ao auditor durante as fases da auditoria de concessão, nomeadamente no fornecimento da informação e das explicações necessárias.

#### **Fase 10: Elaboração do relatório final**

##### **T21 – Elaboração do relatório final**

Relatar, de forma estruturada, as atividades desenvolvidas, as análises realizadas, os resultados atingidos e as conclusões extraídas da realização das tarefas descritas.

### **1.4. Estrutura do relatório**

O presente relatório está dividido em 6 capítulos, servindo este primeiro capítulo de apresentação do trabalho realizado no contexto do estágio, o qual é abordado em detalhe nos capítulos seguintes.

No Capítulo 2 é efetuada uma introdução ao tema em estudo, que engloba um enquadramento geral, dando destaque à importância e benefícios da gestão de energia e à descrição geral da Norma ISO 50001.

O Capítulo 3 é dedicado à caracterização do caso de estudo, com a apresentação da empresa, a descrição do seu processo produtivo, a sua caracterização ambiental, e uma análise da situação

inicial de implementação do sistema de gestão de energia na empresa e das melhores técnicas disponíveis para o sector.

O processo de implementação do sistema de gestão de energia de acordo com os requisitos Norma ISO 50001, realizada durante o estágio, é descrito no Capítulo 4. Este capítulo segue a ordem de requisitos apresentada no texto da Norma ISO 50001.

No Capítulo 5 discutem-se os resultados, apresentam-se as conclusões finais, indicam-se as limitações encontradas e fazem-se propostas de trabalhos futuros.

## **2. Enquadramento e normativo aplicável**

### **2.1. Enquadramento geral**

Na sociedade moderna, que tem vindo a tornar-se cada vez mais dependente dos recursos energéticos, a preocupação com a situação energética é incontornável. A procura crescente de energia, os preços instáveis, mas sempre crescentes, as ruturas no aprovisionamento e a necessidade de minimizar o impacto ambiental, tornaram a criação de uma estratégia clara sobre a energia numa questão da maior relevância.

A política da União Europeia (UE) em matéria de energia traduziu-se na imposição de objetivos energéticos e climáticos para 2020, 2030 e 2050 ao conjunto de Estados-Membros. As metas estabelecidas pela UE para 2020 são: 20 % de redução das emissões de gases com efeito de estufa relativamente aos níveis de 1990, 20 % de energia obtida a partir de fontes renováveis no cabaz energético da UE e 20 % de melhoria da eficiência energética. Até 2030 pretende-se atingir, pelo menos, 40 % de redução das emissões de gases com efeito de estufa, 27 % da energia da UE obtida a partir de fontes renováveis, 27 % de aumento da eficiência energética e 15 % de interligação elétrica entre os países da UE. 80 – 95 % de diminuição das emissões de gases com efeito de estufa, relativamente aos níveis de 1990, é a meta estabelecida para 2050 [1].

Como nova estratégia da UE para a energia, em fevereiro de 2015 a Comissão Europeia lançou as bases para a criação uma União da Energia europeia, que garanta aos cidadãos e às empresas da UE um abastecimento energético seguro, acessível e respeitador do ambiente.

De acordo com a comunicação da Comissão Europeia “Estado da União da Energia de 2015”, a UE já fez até ao momento bastantes progressos a fim de cumprir, e de fazer cumprir, os seus objetivos para 2020. Quanto a emissões de gases com efeito de estufa, a UE está a atingir o seu objetivo, tendo conseguido em 2014 valores inferiores em 23 % aos de 1990 e, de acordo com as projeções mais recentes, espera-se que em 2020 sejam inferiores em 24 %. Em matéria de fontes de energia renováveis, a UE também está no bom caminho para cumprir o objetivo, sendo que estas estão a tornar-se uma das principais fontes de energia da EU, dando já resposta às necessidades de 78 milhões de europeus [2].

Relativamente ao objetivo de aumentar a eficiência energética, apesar dos progressos significativos efetuados as projeções para 2020 mostram apenas 17,6 % de poupança de energia primária. Todavia, a Comissão acredita que o objetivo pode ainda ser alcançado se a legislação da UE em vigor for implementada de forma correta nos Estados-Membros. Assim, é recomendado que os Estados-Membros tomem medidas suplementares para alcançar os seus objetivos nacionais, aumentando os seus níveis de ambição e esforços no que diz respeito à eficiência energética [2].

Seguindo as diretivas da Comissão Europeia, Portugal, como Estado-Membro, tem vindo a estabelecer os seus planos nacionais em matéria de energia e clima, com vista ao cumprimento das metas definidas.

No que toca à melhoria da eficiência energética, foi criado o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE). O primeiro PNAEE de 2008 estabelece um conjunto de medidas de eficiência energética para alcançar a meta definida pela UE de 9 % de redução no consumo final de energia até 2016 (e 20 % até 2020), que abrangem os sectores de transportes, serviços, indústria, agricultura e residencial. O PNAEE 2016 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013), tendo por base as áreas, programas e medidas do PNAEE anterior e projetando novas ações, prevê uma redução de 8,2 % até ao final de 2016, o que ficará aquém da meta estabelecida [3].

Depois do sector residencial e serviços, a indústria é responsável por uma percentagem considerável (24 %) das economias potenciais previstas no PNAEE 2016, no seguimento de medidas associadas ao SGCIE (Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia), incluindo a sua revisão [3].

O PNAEE 2016 é essencialmente executado através de medidas regulatórias (imposição de penalizações sobre equipamentos ineficientes, requisitos mínimos de classe de desempenho energético, obrigatoriedade de etiquetagem energética, obrigatoriedade de realização de auditorias energéticas), mecanismos de diferenciação fiscal e apoios financeiros provenientes de fundos que disponibilizem verbas para programas de eficiência energética [3].

## **2.2. Gestão de energia**

Hoje em dia, falar de eficiência energética é cada vez mais importante no seio das organizações. Guiadas por motivações económicas, por requisitos de clientes e organizações não-governamentais, ou por requisitos legais, as empresas sentem cada vez mais a pressão para reduzir o seu consumo de energia [4]. A redução do consumo energético pode ser conseguida através de investimentos em tecnologias mais eficientes energeticamente ou através da implementação de práticas de gestão de energia [5].

A gestão de energia inclui todas as medidas, planeadas e implementadas, para assegurar o consumo mínimo para determinada atividade [6], promovendo a utilização racional da energia e a eliminação do desperdício energético. Está associada a economias de energia, à redução dos tempos de paragem e de manutenção, à melhoria da disponibilidade da energia, e ainda ao cumprimento dos objetivos de sustentabilidade ambiental.

De facto, através da implementação de programas de gestão de energia, as empresas podem poupar até 20 % na sua fatura energética, e com investimento mínimo podem acrescer essa poupança de 5 – 10 %, cortando efetivamente nos custos de operação [7].

Apesar de serem largamente reconhecidos os ganhos possíveis da melhoria da eficiência energética, a implementação de medidas para alcançá-la não é tão popular como seria de esperar [8]. Para muitas empresas, a gestão de energia não é uma prioridade; por isso, tendem a aplicar medidas isoladas de redução dos consumos em vez de optarem por uma abordagem



sistemática ao problema, acabando por falhar na integração da eficiência energética na sua estratégia global, na sua organização estrutural e nas operações diárias [9]–[11].

Vários estudos afirmam que o estabelecimento de sistemas de gestão de energia, como o proposto pela Norma ISO 50001, ajudam a ultrapassar barreiras à gestão devida da energia nas empresas, dado que oferecem uma base organizacional para a melhoria da eficiência energética [12], [13].

### **2.3. Sistemas de gestão de energia**

Um sistema de gestão de energia (SGE) consiste em atividades de planeamento, medição, monitorização, controlo e melhoria do desempenho energético, que suportam os objetivos globais de uma organização [10], [11], [14]. Define-se, no texto da Norma ISO 50001, como um “conjunto de elementos inter-relacionados ou inter-atuantes para estabelecer uma política e objetivos energéticos, bem como estabelecer os processos e procedimentos necessários para a concretização desses objetivos” [15].

Os aspetos essenciais a assegurar com a implementação de um SGE são os seguintes:

- Conhecimento dos consumos energéticos da organização;
- Contabilização e monitorização da evolução dos consumos de energia;
- Disponibilização de dados para tomada de decisões sobre as medidas a adotar;
- Adoção de medidas que permitam otimizar a utilização de energia;
- Controlo do resultado das ações e investimentos realizados para melhoria do desempenho energético [16].

Assim, um SGE funcional permite às empresas conhecer sistematicamente o seu fluxo energético e identificar o seu potencial de poupança de energia, que servem como base para ações e investimentos na melhoria contínua do seu desempenho energético [6].

A implementação de um SGE resulta em poupanças de energia mensuráveis e na redução de custos inerente, bem como na melhoria da eficiência dos processos. A um nível mais global, operando com sensibilidade no que diz respeito à eficiência energética, a empresa contribui para a melhoria da situação ambiental, o que acaba por beneficiá-la de forma indireta ao ajudar no cumprimento das suas políticas ambientais, e por se traduzir numa melhoria da imagem pública da empresa. A gestão sustentável dos recursos energéticos pode trazer às empresas uma importante vantagem competitiva e estratégica, tornando-as mais aptas para lidar com os desafios futuros do mercado energético, e representa uma visão perspicaz por parte da direção que pode ser considerada um indicador de lucratividade futura [6], [9], [11].

## 2.4. Norma ISO 50001

A Organização Internacional de Normalização (ISO) publicou em junho de 2011 a Norma ISO 50001 – «*Energy Management Systems – Requirements with guidance for use*», traduzida e adotada em Portugal, em 2012, pelo Instituto Português da Qualidade, como Norma NP EN ISO 50001 – «Sistemas de Gestão de Energia – Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização». Esta Norma foi desenvolvida pela ISO como o futuro referencial para a gestão de energia a nível mundial [17].

Dois anos após a publicação da Norma ISO 50001, encontravam-se certificadas mais de 4 000 organizações em todo o Mundo; em 2015, este número subiu para quase 12 000 organizações, o que representa uma grande generalização, a nível mundial, da abordagem sistemática da gestão de energia. De destacar que a Europa detém grande parte do total das certificações, sendo que a Alemanha, com 5 931 certificações até 2015, detém mais de metade do total a nível mundial, enquanto Portugal regista apenas 38 certificações [18].

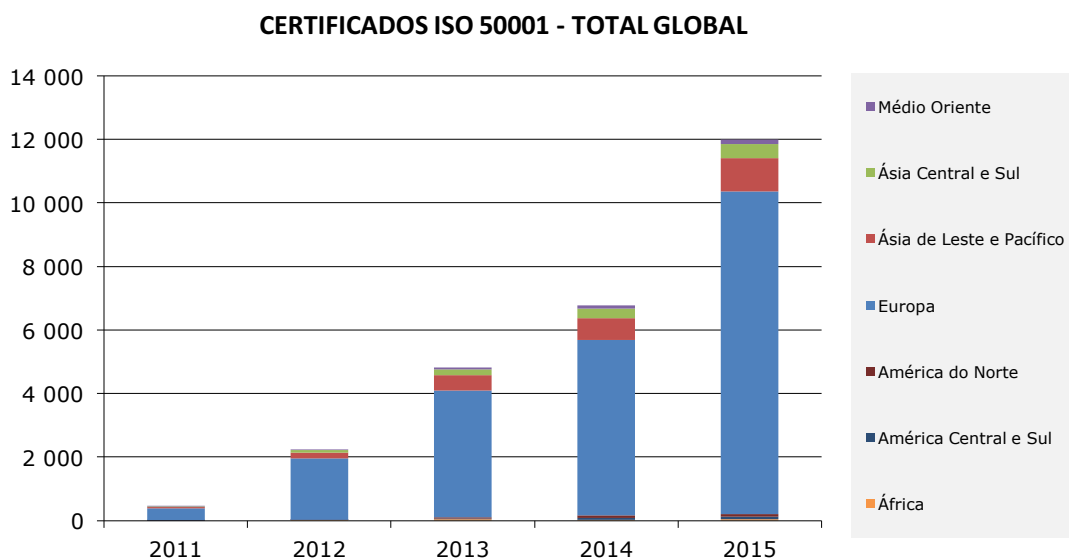


Figura 1 – Certificados ISO 50001 emitidos no Mundo [18].

A Norma ISO 50001 apresenta-se como um referencial que orienta as organizações na implementação de um sistema de gestão de energia e nos processos necessários para a melhoria do desempenho energético, de forma a reduzir custos, emissões de gases com efeito de estufa e outros impactos ambientais [15].

Esta Norma é aplicável em qualquer sector: na indústria, serviços ou outro tipo de organização, independentemente da sua dimensão; o nível de detalhe e de complexidade do SGE, bem como a amplitude da documentação e dos recursos que lhe são afetos, é que irão depender da dimensão da organização, do âmbito do sistema, e da natureza das suas atividades, produtos e serviços [6], [18].

A Norma ISO 50001 está baseada no ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*): foco na avaliação da situação inicial de desempenho energético e estabelecimento de um plano de ação, depois a implementação de medidas de melhoria, seguida da avaliação da sua efetividade e, por fim, um passo de revisão para identificar novas oportunidades de melhoria [14], [15].

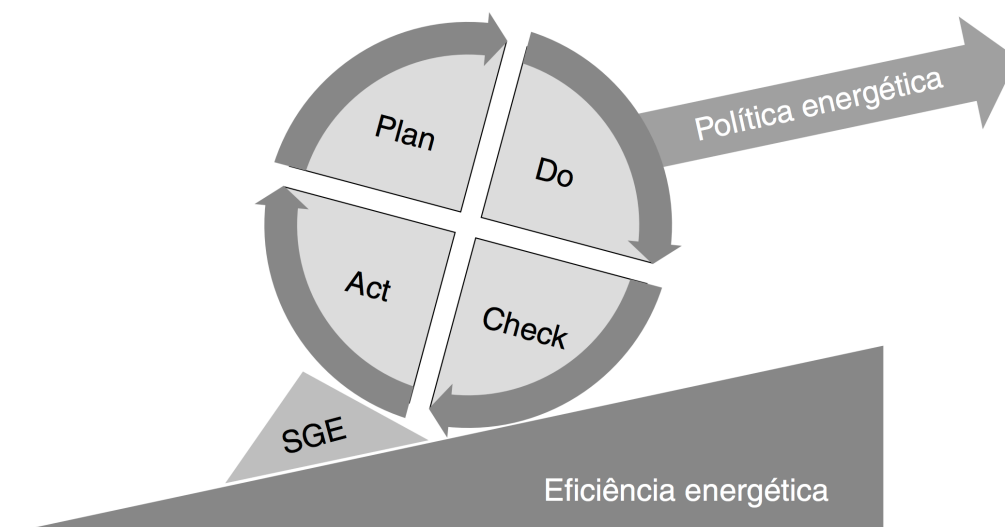


Figura 2 – SGE baseado na metodologia PDCA [17].

A Norma ISO 50001 não especifica critérios de desempenho relacionados com o consumo de energia e a eficiência energética; em vez disso, propõe um modelo de gestão que contribui para o desenvolvimento e implementação de uma política energética e para o estabelecimento de objetivos, metas energéticas e planos de ação, levando em consideração os requisitos legais e a informação vinda da análise e controlo dos consumos de energia, sendo da maior utilidade para as empresas identificarem requisitos que devem ser adotados [9], [11].

Os requisitos da Norma ISO 50001 referem-se a aspetos organizacionais ou técnicos, e através deles pode deduzir-se uma estrutura organizacional e um sistema técnico e operacional. A estrutura organizacional é uma estrutura base para as ações, onde o sistema de gestão de energia está localizado, e atua como um instrumento para a fase de planeamento. O sistema técnico e operacional é o sistema de realização das medidas e ações, incluindo a instalação e processos [4].

A Secção 4 da Norma ISO 50001 (Requisitos do Sistema de Gestão de Energia) consiste em requisitos gerais seguidos de alguma orientação para a sua implementação e desdobra-se nos pontos apresentados na Tabela 2. Os requisitos da norma são identificados com um (G) quando se referem a aspetos organizacionais ou de gestão, e com um (T) quando se referem a aspetos técnicos.

Tabela 2 – Requisitos do SGE segundo a Norma ISO 50001 (adaptada de [18]).

Requisitos do sistema de gestão da energia			
Requisitos gerais	1	<b>Requisitos gerais</b>	
	2	Responsabilidade da gestão	(G)
	2.1	Gestão de topo	(G)
	2.2	Representante da gestão	(G)
	3	Política energética	(G)
Planear (P)	4	<b>Planeamento energético</b>	
	4.1	Generalidades	
	4.2	Requisitos legais e outros requisitos	(G)
	4.3	Avaliação energética	(T)
	4.4	Consumo energético de referência	(T)
	4.5	Indicadores de desempenho energético	(T)
	4.6	Objetivos energéticos, metas energéticas e planos de ação para a gestão de energia	(G)
Executar (D)	5	<b>Implementação e operação</b>	
	5.1	Generalidades	
	5.2	Competências, formação e sensibilização	(G)
	5.3	Comunicação	(G)
	5.4	Documentação	(G)
	5.4.1	Requisitos de documentação	(G)
	5.4.2	Controlo de documentos	(G)
	5.5	Controlo operacional	(T)
	5.6	Conceção	(T)
	5.7	Aprovisionamento de energia, seus serviços, produtos e equipamentos	(T)
Verificar (C)	6	<b>Verificação</b>	(T)
	6.1	Monitorização, medição e análise	(T)
	6.2	Avaliação da conformidade com exigências legais e outros requisitos	(G)
	6.3	Auditoria interna ao Sistema de Gestão de Energia	(G)
	6.4	Não-conformidades, correções, ações corretivas e ações preventivas	(G)
	6.5	Controlo dos registos	(G)
Atuar (A)	7	<b>Revisão pela gestão</b>	
	7.1	Generalidades	
	7.2	Entradas para a revisão pela gestão	(G)
	7.3	Saídas para a revisão pela gestão	(G)

Os componentes-chave da Norma ISO 50001 são:

**1) Responsabilidade da gestão** – A gestão de topo deve ser responsável, em última instância, pela gestão de energia na organização. Em particular, o seu compromisso passa por desenvolver uma política energética e facilitar os recursos organizacionais para a sua implementação. A gestão de topo deve ser suportada por um representante da gestão, que é responsável pelas práticas de gestão de energia no dia-a-dia;

**2) Política energética** – Declaração escrita da estratégia global da organização em relação ao desempenho energético. Nela assentam os objetivos e metas energéticos de todos os níveis da organização;

**3) Planeamento energético** – Abordagem estruturada, que inclui uma análise detalhada dos usos e consumos de energia, para identificação de potenciais oportunidades de melhoria da eficiência energética. Na sua base está a realização de uma auditoria energética e a definição de um consumo energético de referência. Além disso, os indicadores de desempenho energético e os objetivos energéticos têm um papel muito importante, e a formulação de planos de ação para a energia tem um papel central;

**4) Implementação** – Consiste em implementar as ações previamente definidas, e envolve a formação e sensibilização dos membros da organização, bem como, a documentação geral do SGE;

**5) Verificação** – Implementação de um sistema eficaz de controlo dos consumos de energia, que inclui um sistema de aquisição de dados e processamento da informação;

**6) Revisão pela gestão** – As oportunidades de melhoria e os resultados da sua implementação devem ser revistos pela gestão de topo regularmente [11].

Para assegurar o cumprimento dos requisitos da Norma ISO 50001, e de forma a poder comunicar a sua implementação a terceiros, as empresas devem pedir a certificação do seu SGE por uma agência acreditada para o efeito [11], [16].

Um estudo realizado por *Böttcher & Müller* [11] mostra que os efeitos positivos da implementação de um SGE são mais acentuados quando este é certificado. Desta forma, recomenda-se a certificação para garantir os benefícios da implementação do SGE.

Um SGE baseado no referencial ISO 50001 pode ser implementado em integração com outros sistemas de gestão em funcionamento. Isto acontece porque, assim como a Norma ISO 50001, a Norma ISO 14001 – «Requisitos do Sistema de Gestão Ambiental», o regulamento EMAS e muitas outras normas, são baseados na metodologia PDCA [19], [20]. A implementação de um SGE é facilitada em empresas que possuam um modelo de gestão em prática e, segundo um ponto de vista de eficiência e poupança de recursos, faz sentido integrar os requisitos dos vários sistemas de gestão [6].

Apesar de muito em linha com a Norma ISO 14001, a Norma ISO 50001 coloca uma maior ênfase na melhoria contínua do desempenho energético, e é mais apropriada que a primeira para empresas consumidoras intensivas de energia, pois o maior potencial para redução de custos e emissões reside na redução do consumo de energia [6], [21]. É recomendada a adoção de um SGE, segundo o referencial ISO 50001, mesmo para empresas que já possuam um sistema de gestão ambiental implementado, dado que este promove benefícios adicionais [11].

Desde a publicação da Norma ISO 50001 têm vindo a ser desenvolvidos outros normativos ISO que constituem a “família ISO 50001”:

- Norma ISO 50002 – «Auditorias Energéticas»,
- Norma ISO 50003 – «Requisitos para entidades certificadoras de sistemas de gestão de energia»,
- Norma ISO 50004 – «Guia para implementação, manutenção e melhoria de um sistema de gestão de energia»,
- Norma ISO 50006 – «Consumo energético de referência e indicadores de desempenho energético»,
- Norma ISO 50015 – «Medição e verificação do desempenho energético de uma organização» [17].

## **2.5. Auditoria energética**

A melhoria contínua do desempenho energético de uma instalação é conseguida através da implementação de medidas de eficiência energética e estabelecimento metas energéticas a alcançar. Uma auditoria energética permite conhecer em detalhe a instalação e os processos em causa, do ponto de vista da utilização e do consumo de energia, de forma a encontrar oportunidades de melhoria do seu desempenho energético.

A realização de uma auditoria energética pode ser obrigatória quando a instalação está abrangida pelo SGCI ou pretende obter uma certificação energética. A Norma ISO 50001 não obriga especificamente à realização desta prática, mas salienta a sua importância para o planeamento energético [15], [17].

Uma auditoria energética de uma instalação deve assentar em alguns objetivos essenciais:

- Analisar as condições de utilização de energia;
- Caracterizar as formas de energia utilizadas;
- Conhecer e contabilizar os consumos de energia;
- Avaliar medidas de racionalização implementadas;
- Avaliar o desempenho dos sistemas de utilização da energia;
- Quantificar os consumos energéticos por sector, produto ou equipamento;
- Relacionar o consumo de energia com a produção;
- Estabelecer e quantificar potenciais medidas de racionalização;
- Realizar o levantamento de potenciais medidas de economia de energia;
- Analisar técnica e economicamente as soluções encontradas;
- Propor um esquema operacional de gestão de energia;
- Propor um plano de racionalização para as ações e investimentos;
- Fornecer dados para a tomada de decisões [17].

De acordo com a Norma ISO 50002, a realização de uma auditoria energética é composta por várias fases: o planeamento da auditoria, a reunião de abertura com recolha de dados e informação, o estabelecimento de um plano de medição, a condução da visita à instalação, a análise dos dados recolhidos, a elaboração do relatório e a reunião de fecho [17].

Segundo o Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril, (Secção IV - Artigo 12º), as empresas não PME (pequenas e médias empresas) devem ser objeto de realização de auditoria energética, independente e rentável, de quatro em quatro anos, a apresentar junto da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). As auditorias a realizar devem respeitar os critérios mínimos indicados no anexo IV do Decreto-Lei:

- Assentar em dados operacionais atualizados, mensuráveis e rastreáveis sobre o consumo de energia e (para a eletricidade) os perfis de carga;
- Conter uma análise pormenorizada do perfil de consumo energético dos edifícios ou conjuntos de edifícios, e das atividades ou instalações industriais, incluindo o transporte;
- Assentar, sempre que possível, numa análise dos custos ao longo do ciclo de vida, em vez de períodos de retorno simples, a fim de ter em conta as economias a longo prazo, os valores residuais dos investimentos de longo prazo e as taxas de atualização;
- Ser proporcionadas e suficientemente representativas para proporcionar uma panorâmica fidedigna do desempenho energético global e uma identificação fiável das oportunidades de melhoria mais significativas;
- Possibilitar cálculos detalhados e validados das medidas propostas, a fim de fornecerem informações claras sobre as potenciais economias; os dados nelas utilizados devem poder ser armazenados para análise histórica e acompanhamento do desempenho [22].

## 2.6. Sistemas de monitorização remota dos consumos energéticos

Em organizações de grande dimensão, um sistema de monitorização remota dos consumos de energia, ligado a um *software* de centralização e supervisão energética, é fundamental para a medição, análise e controlo dos consumos energéticos, e peça vital na implementação bem-sucedida de um SGE [16]. Este sistema permite a obtenção, processamento e análise de dados que vão ser relevantes para assegurar o bom funcionamento do SGE e, conseqüentemente, a melhoria do desempenho energético da organização.

Os sistemas de monitorização remota são normalmente baseados em sistemas SCADA (*Supervision Control And Data Acquisition System*). A monitorização é realizada com a leitura e registo em tempo real, através de equipamentos instalados nos locais de consumo, que medem e indicam os valores das variáveis pretendidas. Estes equipamentos comunicam com um centro de controlo que permite uma pronta análise de dados e identificação de possíveis anomalias, através de gráficos, telas e relatórios desenvolvidos para o efeito [23].

A instalação de um sistema de supervisão e gestão dos consumos energéticos permite melhorar a eficiência do processo de monitorização e medição, e os dados obtidos e armazenados pelo sistema servem o SGE em termos da avaliação energética, determinação de indicadores de desempenho, estabelecimento de consumo energético de referência, estabelecimento e cumprimento de metas, controlo operacional, identificação de oportunidades de melhoria e seguimento de medidas implementadas.

Na Figura 3 ilustra-se um sistema de monitorização remota dos consumos energéticos para a totalidade de uma instalação fabril e a sua relação com um SGE.

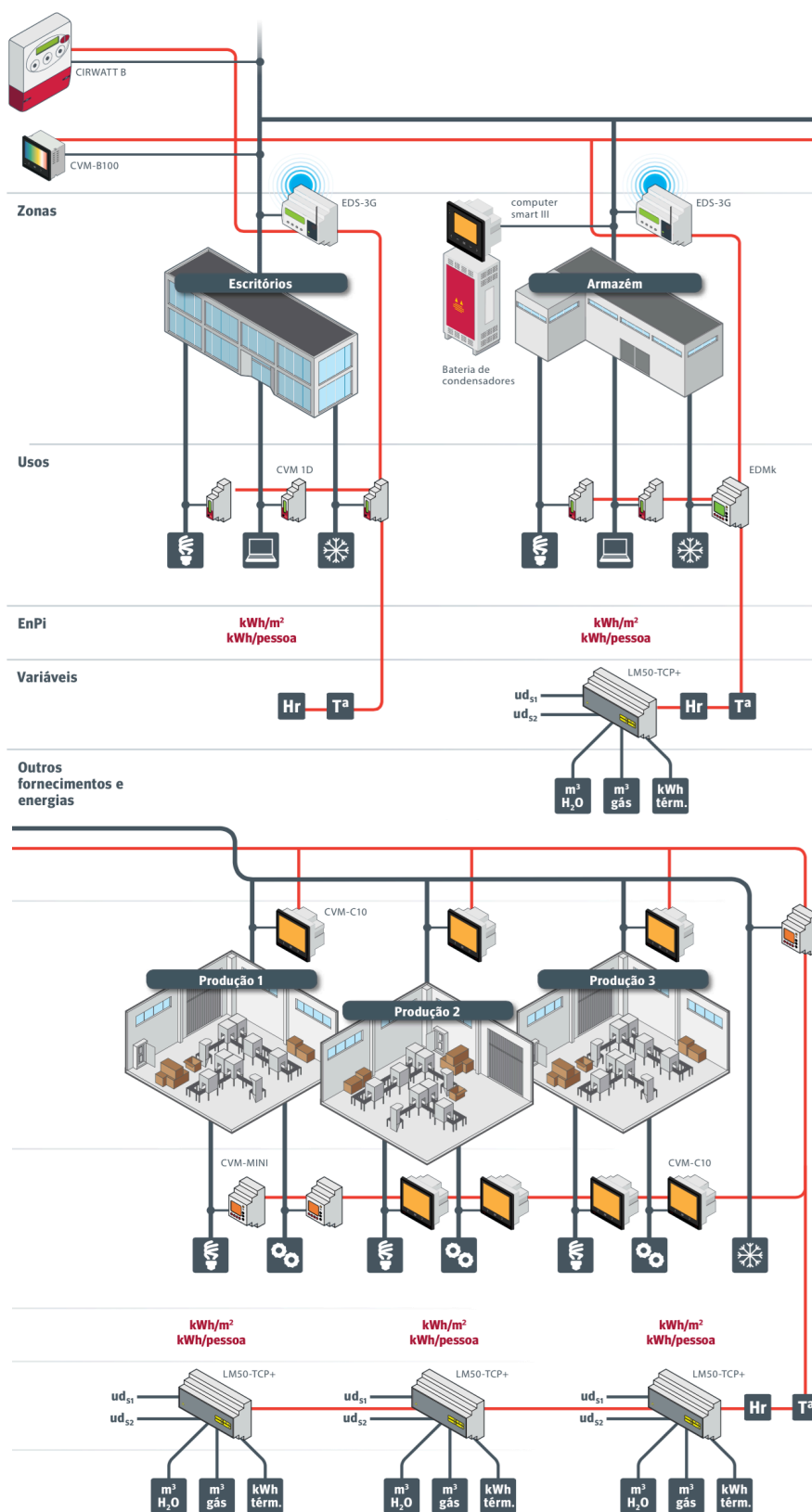


Figura 3 – Exemplo de sistema de monitorização remota [23].



### 3. Caracterização do caso de estudo

#### 3.1. Apresentação da empresa

A *Verallia* Portugal dedica-se à fabricação e comercialização de embalagens de vidro para a indústria alimentar, com laboração em regime contínuo 365 dias por ano, e tem um total de 244 colaboradores.

A antiga *Saint-Gobain* Mondego, em funcionamento desde 1987, pertenceu até 2015 ao grupo multinacional francês *Saint-Gobain*, quando foi comprada pelo Grupo *Apollo Global Management*. É agora uma das fábricas do grupo *Verallia* (com presença industrial em 13 países, presença comercial em 45 países, 5 centros técnicos e 12 centros de desenvolvimento de produto), terceiro maior produtor de vidro de embalagem a nível global [24].

A estrutura organizacional da *Verallia* está esquematizada no organigrama da Figura 4.

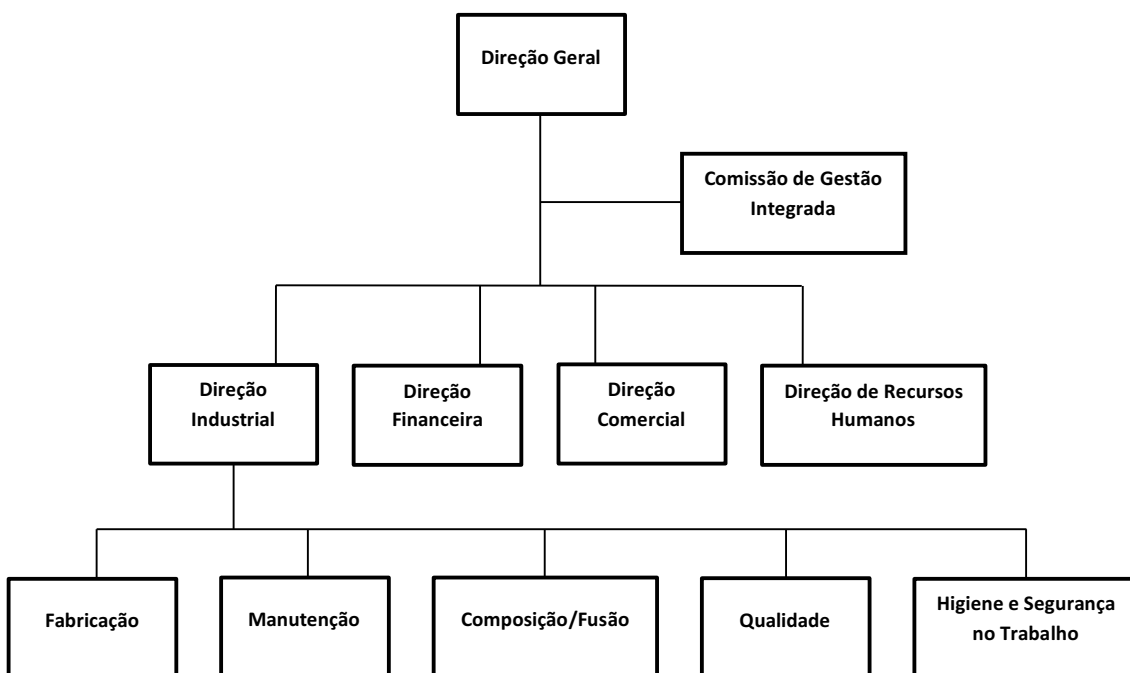


Figura 4 – Organigrama da estrutura organizacional da *Verallia* (adaptada de [25], [26]).

O objeto de estudo deste trabalho foi a unidade industrial da *Verallia* na Fontela (freguesia de Vila Verde, Figueira da Foz), constituída pela nave fabril, o edifício administrativo e os armazéns de expedição (Figura 5).

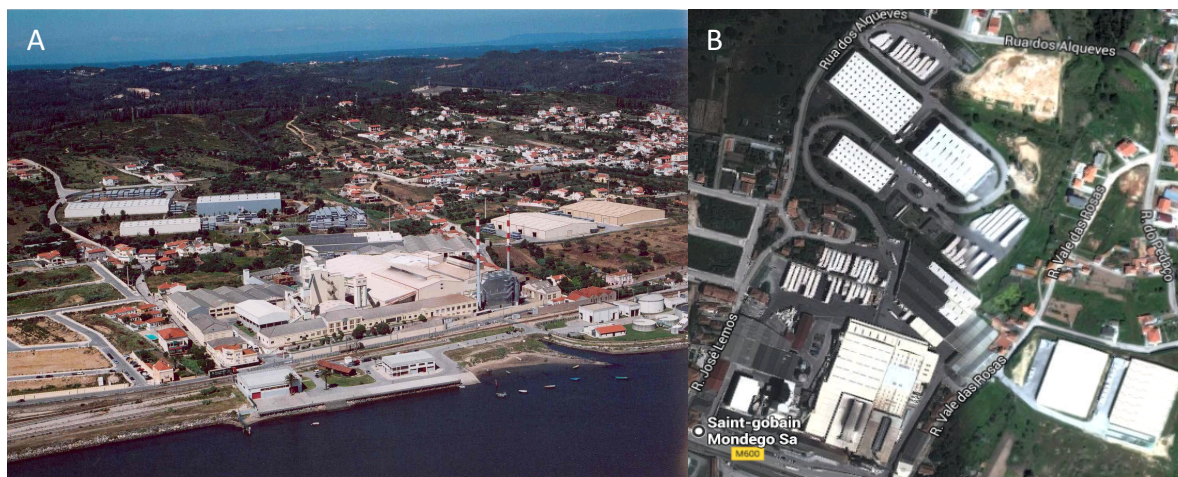


Figura 5 – Fotografia aérea (A) e imagem de satélite (B) [27] da unidade industrial da Verallia.

A produção de vidro de embalagem na Verallia é distribuída por famílias de produtos, essencialmente garrafas (vinhos de mesa, vinhos do porto, espumantes, cervejas, licores, águas, refrigerantes, sumos, azeites), boiões e garrafões, e por cores: âmbar, branco, branco azulado, canela e verde. As embalagens destinam-se aos mercados interno e externo, e os principais clientes são a Central Cervejas, a Unicer, a Sogrape e a Nestlé.

A unidade fabril tem dois fornos de fusão, que utilizam como combustível o gás natural e possuem um sistema auxiliar de reforço elétrico, tendo uma capacidade máxima de produção instalada de cerca de 900 (450 por forno) toneladas de vidro fundido por dia. Esta capacidade não chega a ser atingida, estando a produção dependente da quantidade e peso das embalagens pedidas pelos clientes.

A Verallia possui um conhecimento profundo de tecnologias aplicáveis às etapas do processo de fabricação do vidro de embalagem e é um caso bem-sucedido no sector.

### 3.2. Processo produtivo

O vidro é produzido através da fundição de matérias-primas em fornos refratários a altas temperaturas, seguida da conformação do vidro na forma de embalagem e de tratamentos para otimizar as suas características. O processo é complementado pela inspeção do produto, a fim de enviar para expedição apenas aquele que corresponde aos padrões de qualidade estipulados.

As principais entradas do processo são: matérias-primas, energia (essencialmente gás natural e energia elétrica), água e ar. As principais saídas do processo dividem-se em cinco categorias: produtos, emissões para a atmosfera, descarga de efluentes líquidos, resíduos sólidos e energia, não existindo coprodutos ou subprodutos do processo.

Segue-se uma descrição do processo produtivo, ilustrado na Figura 6, que se divide em: composição, fusão, conformação, tratamentos e processos a jusante, que se expõem em maior detalhe nas subsecções seguintes.

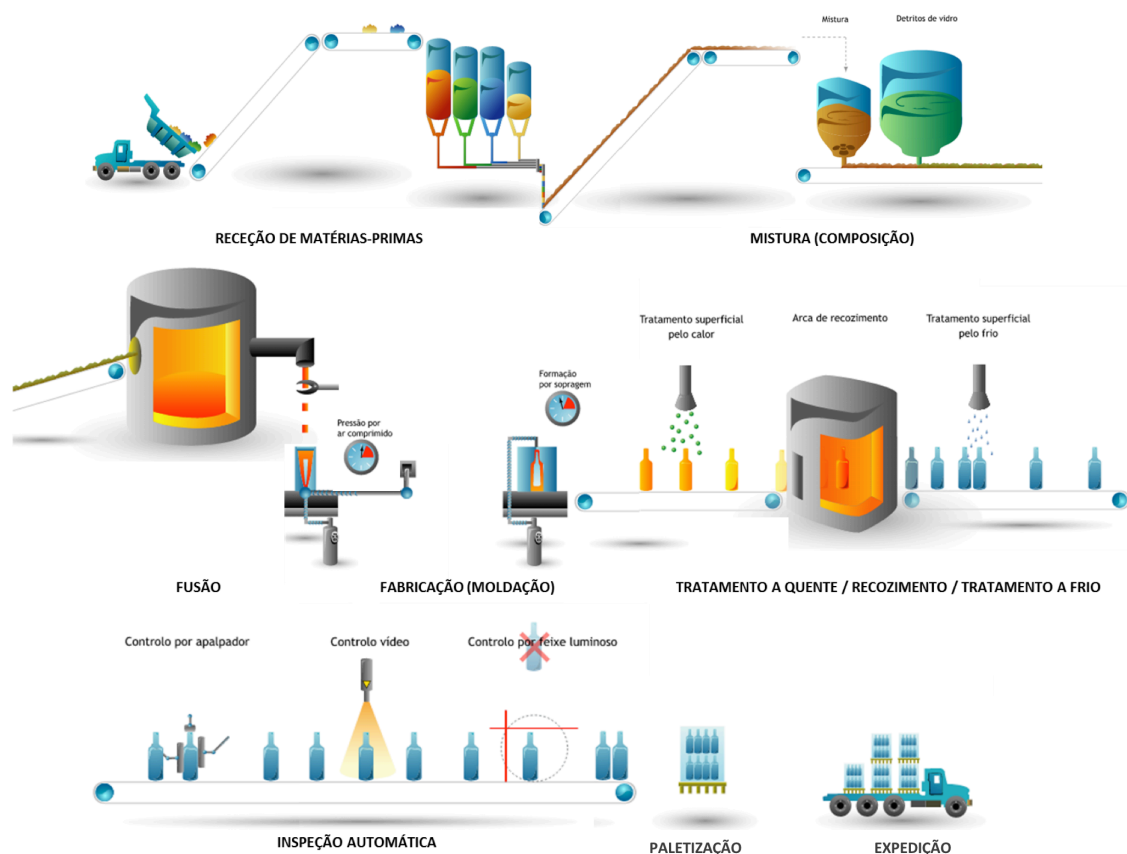


Figura 6 – Ilustração do processo produtivo da *Verallia* (adaptada de [24]).

### 3.2.1. Composição

O fabrico do vidro de embalagem inicia-se com um processo automático de pesagem e mistura das matérias-primas, de acordo com a composição desejada, adicionando-se uma percentagem de casco (detritos de vidro para reciclagem), tanto maior quanto possível. O casco utilizado pode ser de origem externa, adquirido a outras empresas, e de origem interna, com o aproveitamento de material rejeitado ao longo do processo. As matérias-primas e casco de origem externa são recebidos e, após controlo de qualidade, armazenados em silos próprios até ao momento da sua utilização.

A mistura de matérias-primas para a produção do vidro de embalagem é constituída por: areia (71 %), soda (carbonato de sódio, 14 %), calcário (carbonato de cálcio, 11 %) e outros constituintes (sulfato de sódio, óxido de ferro, óxido de crómio, etc., 4 %) adicionados para melhorar as características e determinar a coloração do vidro [24]. A adição de casco à mistura é fundamental no fabrico de vidro de embalagem, pois permite uma grande economia de energia ao mesmo tempo que reduz o consumo de matérias-primas.

Normalmente, estão em curso simultaneamente campanhas de vidro de cor diferente nos dois fornos da instalação. Assim, são realizadas duas misturas de composição distinta, cada uma destinada a um dos fornos, para onde vai ser transportada para ser submetida ao processo de fusão.

### 3.2.2. Fusão

O processo de fusão é uma combinação complexa de reações químicas e processos físicos. De seguida pretende-se fazer uma descrição geral, não exaustiva, das várias etapas do processo: aquecimento, fusão primária, afinação e acondicionamento.

A mistura entra nos fornos através das bocas de enforna e atravessa a "zona de fusão", onde funde a temperaturas entre 1300 e 1550 °C, e depois atravessa a "zona de afinação" onde se dá a homogeneização do vidro fundido.

O calor é fornecido aos fornos através da combustão de gás natural, pré-aquecimento do ar de combustão e por estímulo elétrico através de eléctrodos instalados na soleira do forno.

Dada a elevada temperatura, a transferência de calor dominante faz-se por radiação das chamas da combustão e da abóbada do forno, aquecida pelas chamas até aos 1650 °C.

O fornecimento de calor ao forno foi desenhado e posicionado de forma a gerar diferenças de temperatura no vidro fundido e assim induzir correntes de convecção que promovem a recirculação do vidro, assegurando a homogeneidade da fusão.

O nível de vidro fundido contido no forno é mantido constante e o tempo de residência é da ordem das 24 horas, de forma a completar a fusão das matérias-primas.

O vidro escoa desde o forno por canais aquecidos a gás natural e com estímulo elétrico, de forma a controlar as condições de temperatura e viscosidade do vidro fundido, etapa a que se chama acondicionamento, em que se prepara o vidro para poder ser conformado.

### 3.2.3. Conformação

Os canais que transportam o vidro (*feeders*) alimentam as máquinas IS (*individual section machines*), onde é feita a moldação das embalagens.

À chegada à máquina IS o vidro é cortado em gotas, que são encaminhadas para as várias secções da máquina, agora a uma temperatura de cerca de 1200 °C. O processo de conformação é automático, com movimentos pneumáticos. A gota de vidro passa primeiro por um molde e depois por um contramolde, onde, através de sopros de ar comprimido ou prensagem, adquire a forma desejada.

### 3.2.4. Tratamentos

Depois de conformados, os recipientes de vidro sofrem um tratamento superficial a quente (700 °C) que consiste na deposição de uma película na superfície externa que permite melhorar as suas características físico-mecânicas.

Com o fim de remover as tensões internas formadas na fase anterior do processo, os recipientes de vidro sofrem um tratamento térmico de alívio de tensões, em arcas de recozimento alimentadas a gás natural. A passagem pela arca leva as embalagens a uma temperatura uniforme (cerca de 555 °C) e promove o seu arrefecimento de forma lenta e controlada, eliminando assim as suas tensões e tornando-as mais resistentes.

À saída da arca aplica-se um tratamento superficial a frio (100 °C) para diminuir o coeficiente de atrito dos recipientes e melhorar o seu comportamento em linha.

### **3.2.5. Processos a jusante**

Em seguida é efetuada a inspeção do produto, quer por processos automáticos (máquinas de inspeção) quer por controlo visual (inspeção humana). Toda a produção rejeitada nesta fase é reintroduzida no processo sob a forma de casco.

Os produtos finais são embalados, através da sua colocação em paletes e aplicação de filme de plástico retráctil. Uma parte dos produtos poderá ainda ser submetida a um processo de decoração (serigrafia, pintura ou foscagem) ou revestimento com plástico no caso dos garrações.

Finalmente, as paletes são enviadas para armazém por meio de empilhadores para posteriormente serem expedidos para os clientes.

### **3.2.6. Instalação e equipamentos**

A instalação dispõe de sete linhas de produção, três alimentadas por um forno (Forno 1) e quatro por outro forno (Forno 2).

O Forno 1 e o respetivo canal de distribuição alimentam 3 *feeders* (11, 12 e 13), que alimentam duas máquinas IS cada. No caso do Forno 2, são alimentados 4 *feeders* (21, 22, 23 e 24); os *feeders* 21, 22, 23 alimentam uma máquina IS cada um, e o *feeder* 24 alimenta duas máquinas IS. Esta instalação pode produzir no máximo onze modelos diferentes em simultâneo (número de máquinas IS).

Existem sete arcas de recozimento, uma para cada linha de produção. A zona de “vidro frio” é constituída essencialmente por um conjunto de máquinas de inspeção, equipamento de transferência de carga e de paletização.

Para além dos equipamentos referidos, como apoio ao processo de produção descrito, funcionam também: compressores, ventiladores de máquinas IS e de fornos, bombas de água e de vácuo, electrofiltro (tratamento de gases de combustão) e iluminação, entre outros de menor expressão em termos de consumo energético.

## **3.3. Impacto ambiental**

A *Verallia* preocupa-se em realizar a sua atividade produtiva de forma sustentável, assegurando a proteção do meio ambiente e a utilização eficiente dos recursos necessários. O sistema de gestão ambiental da *Verallia* (certificado de acordo com a Norma ISO 14001 e Regulamento EMAS) encontra-se implementado desde há mais de uma década, e a melhoria contínua do desempenho ambiental tem estado na linha da frente das suas preocupações.

O maior fator de impacto ambiental da *Verallia* advém do facto de a produção de vidro de embalagem ser um processo que implica temperaturas elevadas e um consumo intensivo de energia. Isto resulta na emissão para a atmosfera de produtos de combustão nocivos para o ambiente, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) entre

outros, bem como na emissão de partículas resultantes da volatilização e subsequente condensação de materiais voláteis presentes na composição, e ainda de vestígios de cloretos, fluoretos e metais presentes como impurezas nas matérias-primas.

Existem várias soluções técnicas que possibilitam a minimização da carga poluente das emissões com diferentes implicações ambientais e financeiras. Na *Verallia*, as principais medidas implementadas nesse sentido foram: a colocação de um eletrofiltro comum à entrada das chaminés para tratamento dos gases de exaustão dos dois fornos, a otimização da combustão através da regulação de queimadores de baixo NO<sub>x</sub>, a utilização de gás natural em detrimento de outros tipos de combustíveis fósseis e o aumento da incorporação de casco na composição do vidro [25].

O sector de vidro de embalagem, no qual se inclui a *Verallia*, está abrangido pela diretiva da União Europeia sobre o regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa (CELE), que visa controlar estas emissões. Em Portugal, a aplicação desta diretiva é realizada através do Plano Nacional de Licenças de Emissão (PNALE). Dentro deste regime, as emissões são gratuitas quando se mantêm abaixo do limite estipulado, a diferença por defeito para o limite fica em bolsa e pode ser emitido mais tarde, e é possível comprar-se licenças de emissão a outros, mas fora destas situações previstas as emissões são pagas. Através da monitorização semestral, em cada uma das chaminés dos fornos, tem-se verificado que os valores de emissões da *Verallia* se encontram geralmente abaixo dos limites legalmente definidos.

Também segundo diretiva da União Europeia, o funcionamento de instalações onde se desenvolvem atividades a que está potencialmente associada uma poluição significativa (definida de acordo com a natureza e/ou a capacidade de produção) está condicionado à obtenção de uma Licença Ambiental. A Licença Ambiental da *Verallia* estabelece valores limites para outros aspetos ambientais para além das emissões de gases com efeito de estufa, como a descarga de efluentes líquidos e a produção de resíduos sólidos.

A *Verallia* utiliza métodos de tratamento de efluentes industriais na sua ETARI (Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais), de forma a cumprir os limites de descarga estipulados, e não apresenta problemas significativos de poluição de águas. A quantidade de resíduos da atividade da *Verallia* é reduzida, e são ainda valorizados nos fornos de fusão os detritos de vidro provenientes das rejeições do processo, as lamas provenientes do tratamento dos efluentes industriais e os resíduos sólidos resultantes do tratamento dos gases de combustão no electrofiltro [25].

Para além dos aspetos ambientais relativos às saídas do processo, a *Verallia* controla também o impacto ambiental causado pelas entradas do processo, em termos de consumo de recursos naturais: matérias-primas, água e combustíveis fósseis.

Para a redução do consumo de água, a *Verallia* tem vindo a implementar medidas no sentido de diminuir as perdas no processo de refrigeração e de aumentar a quantidade de água em recirculação. Além disso, na unidade industrial existe um sistema de recuperação da água da chuva para utilizar no sistema de refrigeração [25].

Muito importante para a diminuição do consumo de matérias-primas e de combustíveis fósseis na produção de vidro de embalagem é a quantidade de casco reciclado, que se traduz ainda na diminuição das emissões para a atmosfera. Na *Verallia*, até 2011, manteve-se uma tendência de aumento da percentagem de casco introduzido na composição, mas devido à escassez e qualidade (que não atinge os parâmetros requeridos para o processo de fabrico) de casco existente, no mercado nacional e internacional, não se tem vindo a conseguir fazê-lo nos últimos anos [25]. Mesmo assim, o valor atual de incorporação de casco na *Verallia* continua a ser superior ao valor médio do sector de vidro de embalagem em Portugal.

As formas de energia usadas pela *Verallia* atualmente são: energia elétrica, gás natural, gasóleo e fuelóleo, não havendo utilização de energias renováveis. A maior parte do consumo de energia ocorre nos fornos de fusão e o restante em operações de acondicionamento, conformação, recozimento e outros.

No âmbito do Sistema de Gestão Ambiental da *Verallia*, a questão energética é tratada como um aspeto ambiental significativo, dado que afeta o consumo de combustíveis fósseis e as emissões diretas e indiretas inerentes ao processo de fusão. Particularmente, as quantidades de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, mas também de partículas, emitidas por tonelada de vidro fundido, têm relação direta com a quantidade de combustível consumido.

Nos últimos anos, uma tendência do mercado para solicitação de modelos mais leves, nomeadamente no segmento das cervejas, e um consumo de casco inferior ao esperado, contribuíram de forma significativa para o aumento do consumo de energia por tonelada de vidro fundido [25].

### **3.4. Identificação do problema**

Para a indústria vidreira na Europa, desde 2008/2009, a crise financeira, e a consequente diminuição da procura do consumidor, tem levado a reduções na capacidade de produção por fecho temporário ou permanente de fornos ou linhas de produção e a uma redução vincada da capacidade de investimento das empresas [28].

O custo de energia é o fator de maior peso nos custos operacionais de uma instalação de produção de vidro de embalagem. Por isso, as poupanças obtidas através da redução do consumo de energia têm sido, desde sempre, motivação para a implementação de medidas de eficiência energética na *Verallia*. Além disso, a utilização racional da energia e o aumento da eficiência energética são considerados como soluções para manter a competitividade dentro do sector, para além de combater os problemas ambientais.

Desde a década de 60, a indústria vidreira tem vindo a reduzir a energia específica consumida em 1,5 % por ano, mas, nos dias de hoje, este valor diminuiu, com o aproximar dos limites termodinâmicos dos processos [29].

Desta forma, torna-se imperativa a implementação de um processo de gestão de energia, para programar e maximizar os benefícios da implementação de medidas disponíveis de melhoria do desempenho energético e de racionalização dos consumos de energia.

### 3.5. Situação de implementação das MTD

No documento de referência sobre as melhores técnicas disponíveis (MTD) na indústria vidreira [28], a Comissão Europeia recomenda a implementação de uma combinação de medidas de melhoria da eficiência energética do processo de produção de vidro de embalagem, que reduzem significativamente o consumo de energia específico de fusão.

Estas medidas podem requerer elevados investimentos, pelo que, para além da análise energética do processo, são realizados estudo de viabilidade económica que incluem o investimento, taxas de juros e também custos de controlo da poluição, custos de combustível e outros custos de operação durante a vida do forno, de forma a fazer a melhor escolha possível [29]. O centro técnico do grupo de fábricas da *Verallia*, a que pertence a *Verallia* Portugal, é responsável pelos estudos de viabilidade das técnicas disponíveis e pela sua recomendação às fábricas membros.

Nesta subsecção faz-se uma análise da situação da implementação destas medidas na *Verallia*, a qual se encontra resumida na Tabela 3.

**Tabela 3 – Melhores técnicas de melhoria da eficiência energética disponíveis para a indústria vidreira** (adaptada de [28]).

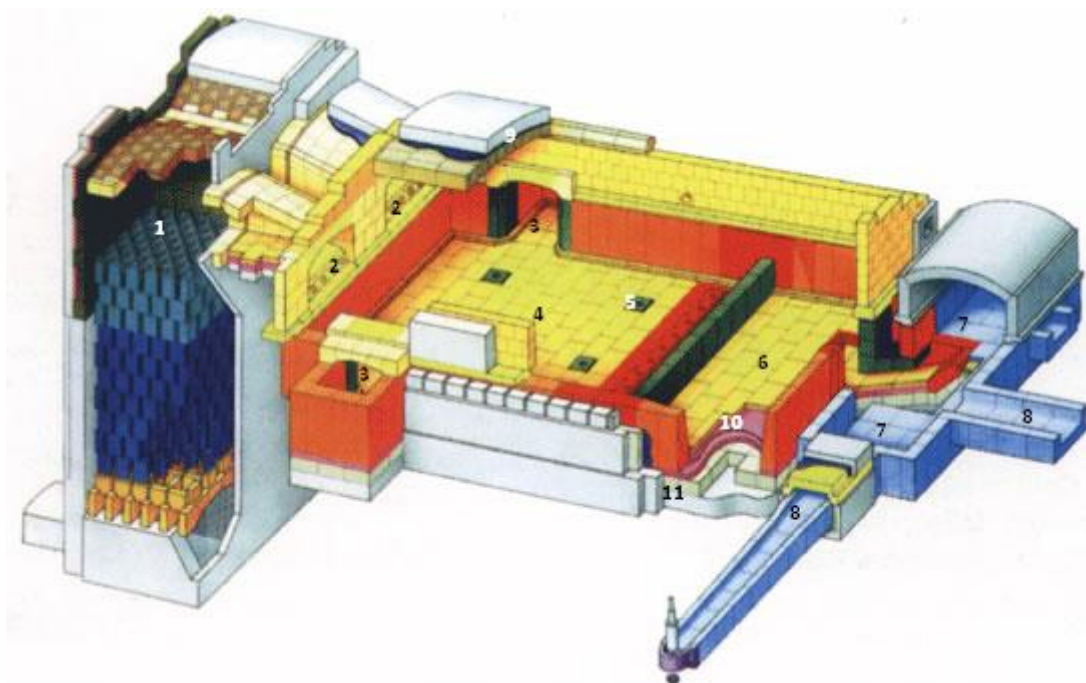
Melhores Técnicas Disponíveis	Aplicação na <i>Verallia</i>
1) Otimização do <i>design</i> do forno e seleção da técnica de fusão.	Técnica aplicada – O <i>design</i> dos fornos existentes é baseado nas melhores técnicas de eficiência energética.
2) Aplicação de técnicas de controlo da combustão.	Técnicas aplicadas – Controlo da quantidade de oxigénio na combustão.
3) Aumento dos níveis de incorporação de casco, quando disponível e técnica e economicamente viável.	Técnica aplicada.
4) Utilização de uma caldeira de calor residual para recuperação de energia perdida, quando técnica e economicamente viável.	Técnica não aplicada – A medida não foi considerada apropriada nem atrativa economicamente.
5) Utilização de pré-aquecimento da mistura de matérias-primas e/ou casco, quando técnica e economicamente viável.	Técnica não aplicada – A medida ainda não foi considerada suficientemente atrativa.



### 1) Tipo de forno e Técnica de Fusão

A escolha de fonte de energia, técnica de aquecimento e método de recuperação de energia são centrais no projeto de um forno, e de extrema importância para a performance económica do processo [28]. Estas escolhas foram feitas tendo em conta a experiência adquirida com os anos de atividade no sector, as melhores técnicas disponíveis e as novas tecnologias emergentes, de acordo com as necessidades da instalação em termos de tipo de vidro e produção estimada.

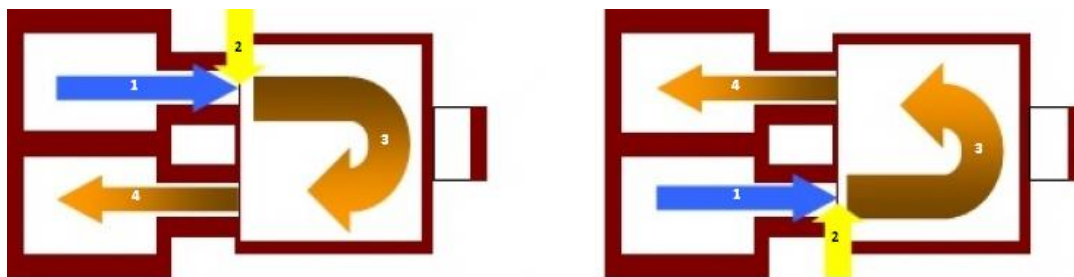
Num processo com um consumo de energia tão intensivo e com necessidade de tão altas temperaturas, há, evidentemente, um grande potencial para perdas de calor. O termo regenerativo, que tem sido utilizado para descrever os fornos da *Verallia*, refere-se a um sistema de recuperação de calor. Os fornos regenerativos (Figura 7) possuem câmaras regeneradoras que realizam o pré-aquecimento do ar de combustão através de calor aproveitado do próprio processo, capazes de proporcionar uma poupança energética significativa.



**Figura 7 – Ilustração de um forno regenerativo de queima em “U”** (adaptado de [30]).

(1 – câmara de regeneração, 2 – queimadores, 3 – bocas de enforna, 4 – zona de fusão, 5 – elétrodo, 6 – zona de afinação, 7 – canais, 8 – *feeders*, 9 – abóboda, 10 – soleira, 11 – isolamento térmico.)

À passagem dos gases de exaustão por uma das câmaras, uma quantidade substancial da sua energia fica retida nas estruturas de material refratário que a compõem. A queima é descontinuada após 20 minutos para inversão periódica da entrada de combustível e de ar. Neste momento, o ar de combustão passa a entrar no forno por esta câmara regeneradora, por onde foram libertados anteriormente os gases de exaustão, e será aquecido à sua passagem através do calor armazenado até cerca de 1200 – 1400 °C. O ar é usado como comburente e junta-se com o combustível na “zona de fusão”, e os queimadores promovem a ignição. Trata-se de fornos de queima em “U”, ou em ferradura, em que a chama faz um *loop*. O diagrama de operação deste tipo de forno é apresentado na Figura 8.



**Figura 8 – Representação da inversão da queima num forno regenerativo** (adaptado de [31]).  
(1 – entrada de ar de combustão, 2 – entrada de composição, 3 – queima em “U”, 4 – saída de gases de exaustão.)

Com os últimos progressos tecnológicos, os fornos regenerativos de grandes dimensões estão a aproximar-se do consumo mínimo de energia teórico para a fusão do vidro, tendo em conta as limitações inerentes do processo [28].

A quantidade de isolamento térmico do forno resulta de um compromisso entre a maximização da poupança de energia e a proteção da sua superestrutura, limitando a temperatura a que esta irá ser sujeita, para prolongar a vida útil do forno [28].

## 2) Controlo da combustão e escolha de combustível

No passado, o combustível mais utilizado para o fabrico de vidro era o fuelóleo, mas a utilização de gás natural no sector tem vindo a aumentar progressivamente, devido à sua economia, pureza elevada, facilidade de controlo e dispensa de armazenamento no local.

Os fornos da *Verallia* estão equipados para a queima dos dois tipos de combustível ou de uma mistura de ambos (combustão mista), requerendo apenas uma troca de queimadores para os adequados à queima escolhida. A *Verallia* realiza exclusivamente queima de gás natural desde 2004 e utiliza fuelóleo como combustível de reserva, para, no caso da interrupção do abastecimento de gás natural, evitar a paragem e deterioração dos fornos.

Hoje em dia, considera-se que a utilização dos dois combustíveis é comparável. A queima de gás natural produz menos emissões de  $\text{SO}_2$  e  $\text{CO}_2$ , mas está associada a mais emissões de  $\text{NO}_x$ . Para além das questões ambientais, a maior razão para uma troca periódica entre gás e fuelóleo é a relação de preços destes combustíveis. Com a subida do preço do gás natural, a possibilidade de variar o combustível poderá vir a ser considerada [28].

O reforço elétrico é um método local de incremento da energia de fusão, pela passagem de uma corrente elétrica por eletrodos verticais posicionados na soleira do forno. Níveis variáveis de estímulo elétrico são usados na produção de vidro de cor, dada a baixa capacidade de transferência de calor do vidro verde e âmbar, de forma a fornecer energia extra às camadas inferiores de vidro no forno. Pode considerar-se que melhora a eficiência energética do forno e reduz as emissões do forno, substituindo uma pequena parte da energia proveniente da combustão por energia elétrica a uma determinada taxa de extração do vidro e melhorando a eficiência energética local. No entanto, estes benefícios não são tão claros se tivermos em consideração os processos de geração e distribuição de energia elétrica, em termos de emissões e

eficiência. O reforço elétrico é geralmente utilizado para melhorar a capacidade de fusão do forno e não a sua eficiência energética [28].

A utilização de queimadores de baixo  $\text{NO}_x$  também resulta em poupanças a nível energético. Ao reduzir a quantidade de ar de combustão aproximadamente aos níveis estequiométricos, menos energia é desperdiçada nos gases de exaustão.

No Forno 1 foi colocada uma sonda de zircónio, que permite averiguar a quantidade de  $\text{O}_2$  presente nos gases de exaustão, de forma a ajustar e controlar automaticamente a relação de combustão (ar/gás), tendo em vista o melhor desempenho energético e o cumprimento das exigências ambientais.

### 3) Incorporação de casco na composição do vidro

Para além da sua inércia química e facilidade de reutilização, outra vantagem das embalagens de vidro sobre embalagens de outros materiais comuns é a sua possibilidade de reciclagem a 100%, sem perda de qualidade.

Na Tabela 4 apresentam-se as implicações da incorporação de casco na composição do vidro de embalagem.

**Tabela 4 – Implicações da utilização de casco na composição do vidro de embalagem.**

Vantagens	Desvantagens
Proporção de 1:1 na produção de vidro novo através de casco 1:1,2 através de matérias-primas – A utilização de casco proporciona uma poupança de matéria-prima muito significativa.	Contaminantes presentes no casco, essencialmente, metais e cerâmicos, aumentam a rejeição de produto por controlo de qualidade e atacam os refratários do forno, diminuindo a sua vida útil e aumentando a necessidade de reparações.
A quantidade de calor necessária para fundir uma determinada quantidade de casco é substancialmente menor do que a requerida para fundir a quantidade de matérias-primas necessária para a produção da mesma quantidade de vidro – A utilização de casco permite baixar a temperatura de fusão e poupar combustível.	A mistura de vidros com diferentes composições químicas pode levar ao aparecimento de defeitos no produto, aumentando a percentagem de rejeições por controlo de qualidade.
Consequentemente, a utilização de casco aumenta o rendimento do forno e permite prolongar o seu tempo de vida útil.	A mistura de cores de vidro no casco, impossibilita a sua utilização em campanhas de vidro branco, onde apenas se pode utilizar casco dessa cor, que é difícil de adquirir.
A utilização de casco permite uma redução da emissão de $\text{CO}_2$ , $\text{SO}_2$ , $\text{NO}_x$ e do volume de resíduos industriais.	Impurezas presentes no casco podem levar a emissões de outros gases poluentes.

Deve ser feita a distinção entre casco interno, proveniente das rejeições do processo, e casco externo, proveniente do descarte do consumidor e adquirido a empresas externas. A composição do casco externo não é tão bem definida, e a presença de contaminantes de difícil deteção e remoção limitam a sua utilização. As desvantagens apresentadas na Tabela 4 referem-se à

utilização de casco externo. A reciclagem do casco interno, proveniente das rejeições do processo, não apresenta desvantagens a assinalar.

A fusão de casco requer menor energia do que fusão de matérias-primas, porque as reações químicas endotérmicas associadas à formação do vidro já foram completadas e a massa de casco é aproximadamente 20 % menor do que a do equivalente em matérias-primas. Como regra geral, cada 10 % de casco extra resulta numa redução de 2,5 – 3,0 % no consumo de energia do forno [28].

Na indústria vidreira utiliza-se uma quantidade substancial de casco na composição. O uso de casco externo é muito variável (0 – 80 %), mas a reciclagem de casco interno corresponde geralmente a 10 % da composição [28]. A quantidade de matérias-primas utilizadas varia de acordo com a percentagem de casco e a composição de vidro desejada.

Na *Verallia* são utilizadas grandes percentagens de casco (70 – 80 %) na produção de vidro de cor (verde, âmbar e canela), mas para produção de vidro branco e branco azulado não se consegue esses níveis de incorporação de casco, devido à escassez de casco apropriado no mercado e à sua fraca qualidade, baixando a percentagem de casco até valores da ordem dos 10 %.

#### **4) Caldeira de calor residual**

O princípio desta técnica é a passagem dos gases de exaustão por uma caldeira tubular para produzir de vapor. O vapor produzido pode ser utilizado para aquecimento (da instalação, do sistema de reserva de fuelóleo, etc.) ou, por meio de uma turbina, para geração de eletricidade a ser utilizada na instalação. A aplicabilidade e a viabilidade económica desta técnica são ditadas pela eficiência global que possa ser obtida, incluindo a utilização eficaz do vapor gerado [28].

Na *Verallia* foi realizado um estudo com colocação de uma caldeira de calor residual para geração de energia na instalação e concluiu-se que a concretização desta medida não era apropriada nem economicamente atrativa. Não tendo sido possível o acesso ao relatório do estudo, assume-se que a quantidade de energia recuperável era demasiado baixa para permitir a geração eficiente de energia elétrica.

#### **5) Pré-aquecimento da mistura de matérias-primas e do casco**

A mistura matérias-primas e casco para a produção de vidro é normalmente introduzida fria no forno, mas através da utilização de calor residual dos gases de exaustão para o seu pré-aquecimento podem ser conseguidas poupanças de energia significativas. A utilização desta técnica pode trazer várias vantagens ao processo de fusão:

- Diminuição do consumo específico de energia entre 10 e 20 %, com a consequente redução das emissões de CO<sub>2</sub> e de NO<sub>x</sub> (nos casos em que este potencial de poupança de energia não é usado para aumentar a taxa de extração de vidro fundido);
- Aumento da taxa de extração de 10 – 15 %, sem comprometimento da integridade do forno, e se a taxa de extração não for aumentada pode ser conseguido um prolongamento da vida útil do forno;

- Com o aumento do fornecimento de calor ao forno pode também reduzir-se a necessidade de reforço elétrico [28], [29].

O pré-aquecimento da mistura de matérias-primas e do casco pode resultar numa diminuição considerável da humidade da composição, o que pode causar a separação de componentes finos e perdas durante o seu transporte e a carga do forno, e aumentar as necessidades de manutenção e limpeza, por causa do aumento das emissões de partículas, com um consequente aumento de custos.

Até ao momento, a *Verallia* não considerou a medida atrativa o suficiente para proceder à sua implementação, mas esta não foi ainda completamente descartada.

### 3.6. Situação de implementação de um SGE

O Sistema de Gestão Integrado (SGI) da *Verallia* assume um papel importante a todos os níveis na organização e está estruturado segundo as seguintes normas e sistemas:

- Norma ISO 9001:2000 – Sistema de Gestão da Qualidade,
- Norma ISO 14001:2004 – Sistema de Gestão Ambiental,
- Regulamento EMAS n.º 1221/2009 – Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria,
- Norma OHSAS 18001:2007 – Sistema de Gestão da Segurança e da Saúde Ocupacional,
- Norma FSSC 22000:2005 – Sistema de Gestão da Segurança Alimentar,
- Norma NP 4457 – Sistema de Gestão da Investigação, Desenvolvimento e Inovação.

O SGI interatua com todas as atividades da *Verallia*, sendo uma preocupação constante a melhoria contínua em todas as suas áreas de atuação, tendo em consideração as necessidades internas e de outras partes interessadas. A *Verallia* definiu critérios e adotou métodos para assegurar a efetiva operação, controlo e monitorização dos seus processos, avaliando o seu desempenho através de indicadores específicos, para todas as vertentes do SGI. Os objetivos anuais do SGI são divulgados a todos os colaboradores e são seguidos mensalmente em reuniões onde participa a direção da *Verallia* e os responsáveis de cada departamento.

Com este estágio, inicia-se em 2015 a implementação da Norma ISO 50001:2012 – Sistema de Gestão de Energia. Nesta fase, a *Verallia* não tem ainda um sistema de gestão de energia concretamente implementado, mas possui um *software* de supervisão energética funcional e várias medidas de utilização racional da energia já aplicadas, que têm vindo a permitir um aumento da eficiência energética.

A implementação do SGE na *Verallia* está facilitada pela possibilidade da sua integração no SGI. Assim, alguns requisitos desta norma podem ser facilmente cumpridos através da sua integração com os sistemas de gestão existentes, o que permite eliminar a duplicação da informação recolhida e processada e aumentar os níveis de produtividade.

Na Tabela 5 apresenta-se uma avaliação da situação atual da empresa em relação a cada um dos requisitos, com a indicação da fase de desenvolvimento em que se encontram, seguindo a ordem da Secção 4 da Norma ISO 50001 (Requisitos do sistema de gestão da energia).

Durante este estágio foi dada especial importância a requisitos mais técnicos relacionados com o planeamento e implementação do SGE, que não possam ser cumpridos através da integração do SGE com outros sistemas de gestão, entre eles: a avaliação energética, o consumo energético de referência, os indicadores de desempenho energético, os objetivos energéticos, metas energéticas e planos de ação, o controlo operacional, e a monitorização, medição e análise.

**Tabela 5 – Situação de implementação dos requisitos do SGE na Verallia.**

	<b>Requisitos do sistema de gestão de energia</b>	<b>Fase de desenvolvimento</b>
1	Requisitos gerais	Desenvolvimento parcial
2	Responsabilidade da gestão	
2.1	Gestão de topo	Desenvolvimento parcial
2.2	Representante da gestão	Não desenvolvido
3	Política energética	Não desenvolvido
4	Planeamento energético	
4.1	Generalidades	
4.2	Requisitos legais e outros requisitos	Desenvolvimento parcial
4.3	Avaliação energética	Desenvolvimento parcial
4.4	Consumo energético de referência	Não desenvolvido
4.5	Indicadores de desempenho energético	Desenvolvimento parcial
4.6	Objetivos energéticos, metas energéticas e planos de ação para a gestão de energia	Desenvolvimento parcial
5	Implementação e operação	
5.1	Generalidades	
5.2	Competências, formação e sensibilização	Desenvolvimento parcial
5.3	Comunicação	Desenvolvimento parcial
5.4	Documentação	Não desenvolvido
5.4.1	Requisitos de documentação	Desenvolvimento parcial
5.4.2	Controlo de documentos	Desenvolvimento parcial
5.5	Controlo operacional	Desenvolvimento parcial
5.6	Conceção	Não desenvolvido
5.7	Aprovisionamento de energia, seus serviços, produtos e equipamentos	Não desenvolvido
6	Verificação	
6.1	Monitorização, medição e análise	Desenvolvimento parcial
6.2	Avaliação da conformidade com exigências legais e outros requisitos	Desenvolvimento parcial
6.3	Auditoria interna ao Sistema de Gestão de Energia	Desenvolvimento parcial
6.4	Não-conformidades, correções, ações corretivas e ações preventivas	Desenvolvimento parcial
6.5	Controlo dos registos	Desenvolvimento parcial
7	Revisão pela gestão	
7.1	Generalidades	
7.2	Entradas para a revisão pela gestão	Desenvolvimento parcial
7.3	Saídas para a revisão pela gestão	Desenvolvimento parcial

## 1) Avaliação energética

O que se pretende com a avaliação energética é: uma análise do consumo e da utilização de energia, a identificação de áreas com usos significativos de energia e a identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético [15].

Era já feita mensalmente, no departamento de manutenção da empresa, uma análise dos consumos de energia, com base nas medições realizadas e nas faturas de energia, comparando-os com o valor do ano anterior e o valor orçamentado para o ano corrente. Este procedimento é um hábito antigo, pelo que existem registos das medições realizadas que datam de há vários anos, que permitiram um maior desenvolvimento deste requisito.

Um uso de energia pode ser considerado como significativo por ser responsável por uma parte relevante do consumo de energia e/ou apresentar um elevado potencial para melhoria do desempenho energético, e deverá ser alvo de atenção especial [16]. Apesar de serem claros os processos e sistemas responsáveis pelos maiores consumos de energia na *Verallia* (fornos, compressores, arcas de recozimento e *feeders*), a Norma ISO 50001 pede que se definam os critérios de significância para os identificar como usos significativos de energia, metodologia que não se encontrava desenvolvida.

Segundo a Norma ISO 50001, deve identificar-se e monitorizar-se as variáveis relevantes para cada uso significativo de energia. Isto já se fazia na *Verallia* para o caso do consumo dos fornos, em que se tem em consideração a percentagem de casco e a quantidade de vidro fundido extraído, sempre que se apresenta o seu consumo de energia e outros fatores de influência são controlados durante o processo.

Outra tarefa que também era necessário desenvolver era a análise e projeção dos consumos energéticos futuros dos usos significativos de energia, considerando um conjunto de fatores, devendo esta ser incluída no processo de planeamento energético.

Para a identificação de oportunidades de melhoria pode-se recorrer a recursos externos à organização. A última auditoria energética independente data de 2006, pelo que era necessário realizar nova auditoria energética de imediato. Depois de identificadas as oportunidades de melhoria, será ainda necessário definir prioridades de intervenção, numa perspetiva de melhoria contínua.

## 2) Consumo energético de referência

As futuras alterações a ocorrer no desempenho energético devem ser avaliadas por comparação com um referencial estabelecido, designado por consumo energético de referência, que é uma representação do cenário mais provável que ocorrerá na ausência da implementação de melhorias na gestão de energia [15]. Pensava-se considerar o ano de 2015, o ano anterior à certificação e da realização da última auditoria, como o ano para o estabelecimento do consumo energético de referência, caso até ao final do ano continuassem a não se registar anomalias. Como *baseline* para o consumo dos fornos, foi desde sempre utilizada a equação teórica dos fornos, e assim se deve manter.

### **3) Indicadores de desempenho energético**

Os indicadores de desempenho energético (IDE) são valores quantitativos, medidas do desempenho energético, definidos pela organização. Já existiam indicadores criados para os fornos, *feeders*, arcas e compressores, seguidos numa reunião de periodicidade semanal. Havia necessidade de realizar um estudo mais aprofundado para averiguar a eficácia destes indicadores na determinação do desempenho energético.

### **4) Objetivos energéticos, metas energéticas e planos de ação**

Será necessário estabelecer os objetivos energéticos e definir as metas energéticas do SGE, que devem ser realistas e mensuráveis, e suficientemente detalhados para que sejam cumpridos em intervalos de tempo bem definidos. Deverão ser implementados planos de ação para a gestão de energia que permitam dar seguimento e monitorizar estes objetivos e metas energéticos [15].

Já se estabeleciam algumas metas relacionadas com a energia no âmbito do SGI, de acordo com os indicadores utilizados. O estabelecimento de novos indicadores, se assim for necessário, tem como consequência o estabelecimento de novas metas energéticas.

Adicionalmente aos planos de ação, focados em atingir melhorias específicas no desempenho energético dos processos, podem criar-se planos de ação que se focalizem na totalidade da gestão da energia ou no próprio processo do SGE (por exemplo, no sistema de monitorização dos consumos de energia) [16].

### **5) Controlo operacional**

O controlo operacional, na perspetiva de um sistema de gestão de energia, visa assegurar que os equipamentos, sistemas, processos e instalações são operados e mantidos de forma a atingir o desempenho energético pretendido [16].

Já existiam vários procedimentos criados que visam a melhoria da eficiência energética dos usos significativos de energia, em particular dos fornos, que visam o controlo da temperatura de soleira, da percentagem de humidade e de oxigénio do ar de combustão.

Nos vários departamentos, existiam também folhas de registo diário de variáveis para seguimento do desempenho dos equipamentos, importantes para a avaliação do desempenho energético e para a deteção e correção de desvios, através dos procedimentos de controlo operacional.

Os procedimentos e registos existentes precisavam de revisão e era necessário averiguar se estes eram suficientes para o controlo operacional do processo em termos energéticos.

### **6) Monitorização, medição e análise**

Era necessário elaborar um procedimento de monitorização e medição para definir e documentar estas atividades, que incluía: identificação dos sistemas, processos e equipamentos a serem monitorizados, a frequência da recolha de dados, os métodos de recolha, a descrição do processo de análise dos dados, e os requisitos de calibração [16]. Os dados recolhidos do processo de monitorização e medição usados na análise do desempenho energético, assim como as necessidades de monitorização e medição, devem ser registados [15], o que já se encontrava implementado. Era ainda necessário garantir o fornecimento de dados exatos e repetíveis pelos



equipamentos utilizados, definindo um plano de calibração para assegurar a adequada manutenção dos equipamentos de medição [16].

A empresa estava já no caminho certo para implementar um sistema eficaz de monitorização dos consumos energéticos com a utilização do programa *CIRCUTOR*, que se baseia na utilização do *software* energético *PowerStudio SCADA*, um *software* potente, simples e de ambiente amigável, que permite uma supervisão energética completa com analisadores de redes e contadores [23].

Em combinação com os equipamentos e sistemas da *CIRCUTOR*, adapta-se às necessidades da instalação, oferecendo as seguintes medidas de gestão eficiente: criação de históricos, determinação de linhas base, controlo de custos energéticos, rácios de consumo de energia, relatórios de consumos e controlo de variáveis em tempo real. Com este *software* pode realizar-se a agregação de consumos por zonas, utilizações, variáveis energéticas e indicadores de desempenho. Permite criar diferentes pontos e níveis de acesso, segundo o tipo de pessoal/utilizador para as diferentes áreas específicas, e permite realizar relatórios segundo as necessidades ou calcular as faturas de custos energéticos antes de estes serem imputados [23].

Durante o estágio, pretendia-se desenvolver o *software* de forma a ajustá-lo às reais necessidades em termos do processamento e disponibilização de informação sucinta, que seja útil para uma gestão eficiente dos usos e consumos de energia.



## **4. Implementação do sistema de gestão de energia**

A implementação concreta do SGE foi antecedida do estudo e interpretação do texto da Norma ISO 50001, levantamento e análise de literatura relacionada, análise da situação inicial de implementação dos requisitos da Norma ISO 50001 na *Verallia*, e levantamento das necessidades de desenvolvimento de novas metodologias e procedimentos relacionados com o SGE.

Para o desenvolvimento do SGE foi necessário acompanhar as práticas de gestão e de operação relacionadas com a energia previamente estabelecidas na *Verallia*, definir métricas para avaliação de significância de usos de energia e para priorização de intervenção, criar novos indicadores de desempenho energético, metas energéticas e planos de ação, criar procedimentos de monitorização e medição, de controlos operacionais e outros documentos necessários, bem como atualizar alguma documentação existente no âmbito do SGI.

Estas atividades foram realizadas de forma independente, de acordo com as necessidades da organização e as várias práticas previamente implementadas, com a orientação, acompanhamento, apoio e aprovação da direção fabril, dos responsáveis pelos departamentos com maior relevância para o consumo de energia, do responsável pelo SGI e de uma empresa externa de consultoria (*SoConsulting*) que apoia o SGI da *Verallia*.

Neste capítulo descrevem-se os passos necessários para a implementação do SGE de acordo a Norma ISO 50001, seguindo os seus requisitos e adotando a ordem utilizada no seu texto.

### **4.1. Responsabilidade da gestão**

#### **4.1.1. Gestão de topo**

O estabelecimento do SGE começa com o compromisso da gestão de topo, que deve assegurar a disponibilidade de todos os recursos necessários para a sua implementação e para a melhoria do desempenho energético da organização. Este compromisso manifesta-se especialmente através de alguns elementos concretos: a definição do âmbito e fronteiras do SGE, a definição da política energética (ver 4.2) e a designação de um representante da gestão como responsável pelo SGE (ver 4.1.2).

A direção da *Verallia* definiu o âmbito do sistema como as suas atividades produtivas, de suporte e administrativas, e as fronteiras do sistema como as limitações da unidade fabril da Fontela (ficam de fora armazéns arrendados noutras localizações).

#### **4.1.2. Representante da gestão de topo**

A gestão de topo designou um colaborador para ficar responsável pela gestão de energia na organização, com as capacidades e competências adequadas para poder intervir na empresa de forma a assegurar o correto funcionamento do SGE.

O designado gestor de energia, em articulação com o representante do sistema de gestão integrado da *Verallia*, tem responsabilidade e autoridade para:

- Assegurar que o SGE é estabelecido, implementado, mantido e continuamente melhorado, de acordo com a Norma ISO 50001;
- Reportar à gestão de topo o desempenho do SGE e as alterações no desempenho energético;
- Planear e dirigir as atividades de gestão de energia que suportam a política energética;
- Determinar critérios e métodos necessários para assegurar que a operação e controlo do SGE são efetivos;
- Identificar colaboradores que trabalhem no suporte das atividades da gestão da energia;
- Definir e comunicar responsabilidades e prioridades que facilitem a gestão efetiva do SGE.

Desta forma, e devido à dimensão e natureza da *Verallia*, para além da figura representante do sistema, decidiu-se designar uma equipa de energia, que o apoiará na implementação e manutenção do SGE. A equipa é composta por colaboradores com conhecimentos específicos de energia e dos equipamentos e processos da empresa e envolve colaboradores de diferentes partes da organização no planeamento e implementação do sistema, incluindo os responsáveis de cada departamento relevante em termos de consumo de energia, o responsável do SGI e um representante da contabilidade da empresa (Figura 9).

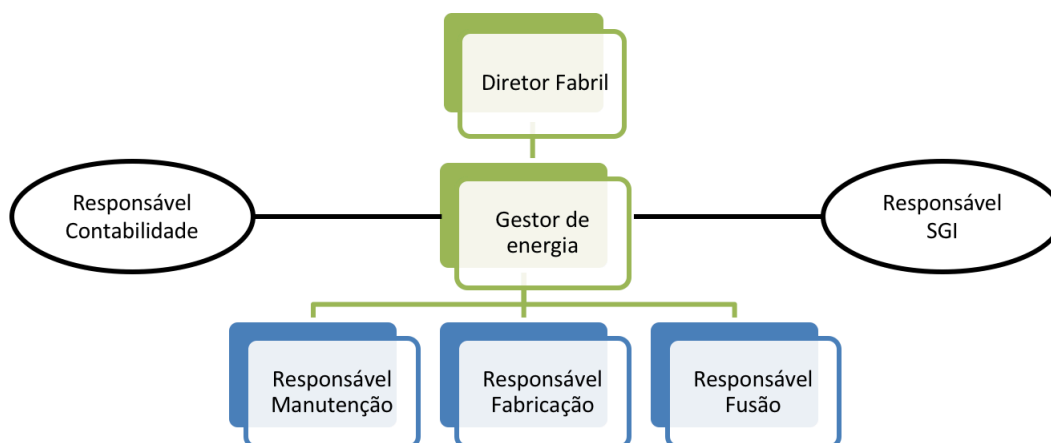


Figura 9 – Diagrama da equipa de energia da *Verallia*.

As principais funções desta equipa de energia são:

- Suporte das atividades da gestão de energia, facilitando a gestão do SGE;
- Determinação de oportunidades de melhoria do desempenho energético e do próprio SGE;
- Seguimento e controlo dos usos significativos de energia, através da monitorização e medição dos seus consumos, de controlos operacionais e de determinação de indicadores de desempenho;
- Aplicação dos planos de ação relativos aos usos significativos de energia sob a sua responsabilidade;
- Reunir mensalmente para o seguimento dos indicadores e planos de ação.

Para além disso, a equipa de energia deverá:

- Promover a consciencialização sobre a política energética e objetivos energéticos da organização;
- Desenvolver, coordenar e implementar estratégias para a redução do consumo de energia;
- Criar políticas para a aquisição de energia e ajudar nas negociações de contratos;
- Manter registos e recolher regularmente dados para monitorização da energia;
- Comparar os consumos energéticos com as orientações das boas práticas do sector;
- Manter-se atualizada sobre a legislação aplicável em termos de energia e emissões;
- Assegurar a manutenção dos registos e documentação requeridos pela Norma ISO 50001.

Durante o estágio, deu-se o apoio necessário na escolha da equipa de energia, na definição das suas funções, na organização e programação das reuniões mensais, e no seu registo em ata.

Tomou-se também a responsabilidade de informar e consciencializar os membros da equipa de energia e a direção dos requisitos da Norma ISO 50001 e dos recursos que se consideraram necessários para o seu cumprimento, em articulação com o representante do SGI e o gestor de energia. Além disso, tentou-se sempre chamar a atenção para a necessidade do compromisso dos intervenientes, destacar a importância de certos requisitos técnicos e de gestão, e incentivar a equipa de energia a acompanhar e participar de todo o processo de implementação.

Todos os métodos desenvolvidos para a implementação dos requisitos da Norma ISO 50001, expostos ao longo deste capítulo, foram avaliados e aprovados nas reuniões da equipa de energia.

## **4.2. Política energética**

O estabelecimento de uma política energética é muito importante para o SGE, pois assegura o compromisso da gestão de topo para com o sistema, e perante todas as partes interessadas.

A gestão de topo, em articulação com o responsável do SGI, definiu uma política energética que estabelece o compromisso da organização para a melhoria do desempenho energético que foi incluída na política integrada da organização, que já contempla políticas de qualidade, ambiente, segurança alimentar e segurança e saúde no trabalho, no âmbito do sistema de gestão integrado.

A política integrada é uma breve e clara declaração que todos podem compreender prontamente, que é comunicada aos funcionários e entidades externas. A sua divulgação é feita através de documentos oficiais da empresa, como a Declaração Ambiental.

Alguns pontos da última versão da política integrada da *Verallia* contêm, incluídas nos seus eixos fundamentais, as políticas de energia estabelecidas no âmbito da implementação do SGE [26], de que se destacam:

- “Fortalecer uma cultura de Qualidade, baseada na Inovação, no Desenvolvimento de Produtos e Processos e na Sustentabilidade. Esta cultura é orientada para o cliente em particular e para as demais partes interessadas, de forma a exceder as suas expectativas, assegurando a Proteção e Sustentabilidade do Ambiente, Consumos Energéticos eficientes, Segurança Alimentar do Produto e Segurança e Saúde no Trabalho, num compromisso de melhoria contínua.”
- “Disponibilizar todos os recursos necessários, assegurando a sua eficiente utilização, de forma a alcançar os objetivos estratégicos delineados e o desenvolvimento sustentável da empresa, criando valor, de forma a satisfazer e ultrapassar as expectativas das partes interessadas.”
- “Definir, controlar e operar os seus Processos, como parte integrante de um Sistema Integrado de Gestão, consistente com uma cultura que corresponda às expectativas dos *stakeholders* e da Sociedade em geral, nomeadamente a prevenir os danos, promover consumos energéticos mais eficientes, minimizar os riscos para os seus colaboradores e parceiros, assim como reduzir os impactes no Ambiente.”
- “Disponibilizar os recursos necessários e divulgar os compromissos da Qualidade, Ambiente, Desempenho Energético, Segurança Alimentar, Segurança e Saúde no Trabalho, Inovação, Investigação e Desenvolvimento, de forma transparente a todos os níveis da Empresa, aos seus fornecedores, às entidades oficiais, às partes interessadas e ao público em geral.”
- “Promover a aquisição de produtos e serviços energeticamente eficientes, com a conceção orientada para a melhoria do Desempenho Energético.”

### 4.3. Planeamento energético

O processo de planeamento energético constitui uma das principais etapas da implementação do SGE. O planeamento energético tem por objetivo identificar e avaliar as atividades que podem afetar o consumo e desempenho energético, assim como definir as ferramentas para otimizar e melhorar os resultados relacionados.

Requisito essencial para o planeamento energético é a realização de uma avaliação energética. O conceito de planeamento energético e a sua articulação com o de avaliação energética e outros requisitos encontram-se representados no diagrama conceptual do processo (Figura 10).

Durante o estágio foi dada grande importância ao estabelecimento do planeamento energético do SGE da *Verallia*, desenvolvendo e propondo à equipa de energia as metodologias necessárias para o cumprimento dos seus requisitos, e criando procedimentos escritos para as documentar.

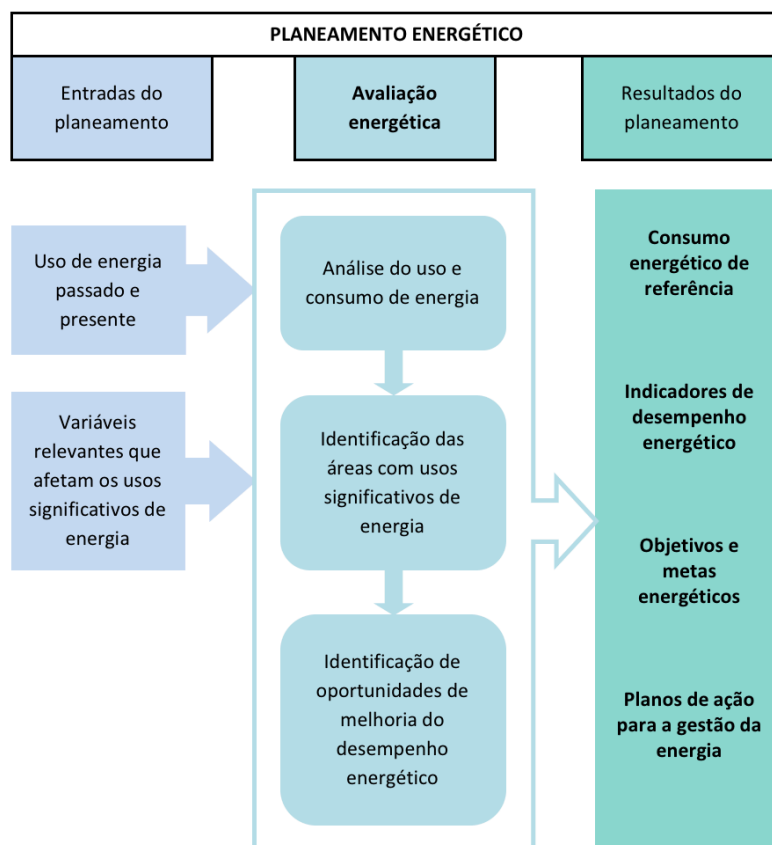


Figura 10 – Diagrama conceptual do processo de planeamento energético (adaptado de [15]).

#### 4.3.1. Requisitos legais e outros requisitos

O levantamento de requisitos legais e outros requisitos relacionados com a energia aplicáveis à *Verallia* é realizado através da contratação do serviço de uma empresa de consultoria (*SoConsulting*), segundo procedimento próprio já estabelecido anteriormente no âmbito do SGI.

Durante o estágio, como parte do planeamento energético, foram analisadas as exigências legais relacionadas com a energia. Com maior relevância para gestão de energia, identificaram-se dois documentos legais:

- Decreto-Lei n.º 38/2013, de 15 de março, referente ao CELE (Comércio Europeu de Licenças de Emissão), que consiste num instrumento de mercado intracomunitário de regulação das emissões de gases com efeito de estufa (GEE);
- Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril, que estabelece disposições em matéria de eficiência energética, transpondo diretivas comunitárias da UE.

O primeiro considera-se relevante por prever a exclusão da obrigatoriedade de realizar auditorias e planos de racionalização de energia para as empresas a que se aplica. Isto vem anular a obrigação anteriormente estipulada, de acordo com o SGCIE (Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia), às empresas consideradas consumidoras intensivas de energia, como é o caso da *Verallia*.

A partir do momento em que a *Verallia* está abrangida pelo regime CELE, no âmbito do PNALE, o Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de abril, sobre o SGCIE já não se considera aplicável. Como consequência direta, a última auditoria energética da *Verallia*, anterior ao início da implementação do SGE, data de 2006.

O segundo Decreto-Lei mencionado veio alterar esta situação, através do estabelecimento de nova obrigatoriedade de realização de uma auditoria energética independente de quatro em quatro anos às empresas que não sejam PME, como é o caso da *Verallia*. Assim, a *Verallia* encontrava-se obrigada a apresentar à DGEG uma primeira auditoria energética independente das suas instalações até 5 de Dezembro de 2015, e sendo esta considerada rentável, apresentar nova auditoria de quatro em quatro anos.

Citando o Decreto-Lei, considera-se rentável uma auditoria energética que “identifique medidas de eficiência energética cujo custo de implementação, acrescido do custo da própria auditoria, seja inferior ao valor monetário das economias de energia resultantes daquelas num período de quatro anos, considerando-se para o efeito custos de energia constantes e excluindo-se quaisquer custos de financiamento do projeto”.

De forma a cumprir a exigência legal, foram avaliadas propostas para a realização da auditoria e esta foi adjudicada e realizada pelo CTCV (Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro). O relatório da auditoria foi enviado à DGEG dentro do prazo estabelecido, apesar de à data não estar disponível o portal para registo e submissão da auditoria, como estava previsto no Decreto-Lei. A auditoria energética não foi considerada rentável, pelo que só se requer apresentação de nova auditoria em 8 anos.

Apesar do Decreto-Lei contemplar uma dispensa da realização da auditoria para empresas que tenham implementado um sistema de gestão de energia ou de ambiente certificado, realizando auditorias internas que respeitem critérios mínimos apresentados, a *Verallia* mostrou interesse em continuar a realização de auditorias energéticas independentes.

#### **4.3.2. Avaliação energética**

A avaliação energética constitui a identificação e revisão dos aspetos energéticos da *Verallia*. Segundo a Norma ISO 50001, o que se pretende com a avaliação energética é: a análise do consumo e da utilização de energia, a identificação dos usos significativos de energia e a identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético (Figura 11). É a etapa fundamental do planeamento energético, que permite o estabelecimento de um consumo energético de referência, de indicadores de desempenho energético e de planos de ação para a energia.

Durante o estágio, utilizando os dados fornecidos pela empresa e os resultados da auditoria energética realizada em 2015, realizou-se a análise energética da *Verallia*, estabeleceu-se as métricas necessárias segundo a Norma ISO 50001, em articulação com a equipa de energia, e documentou-se todo o processo.



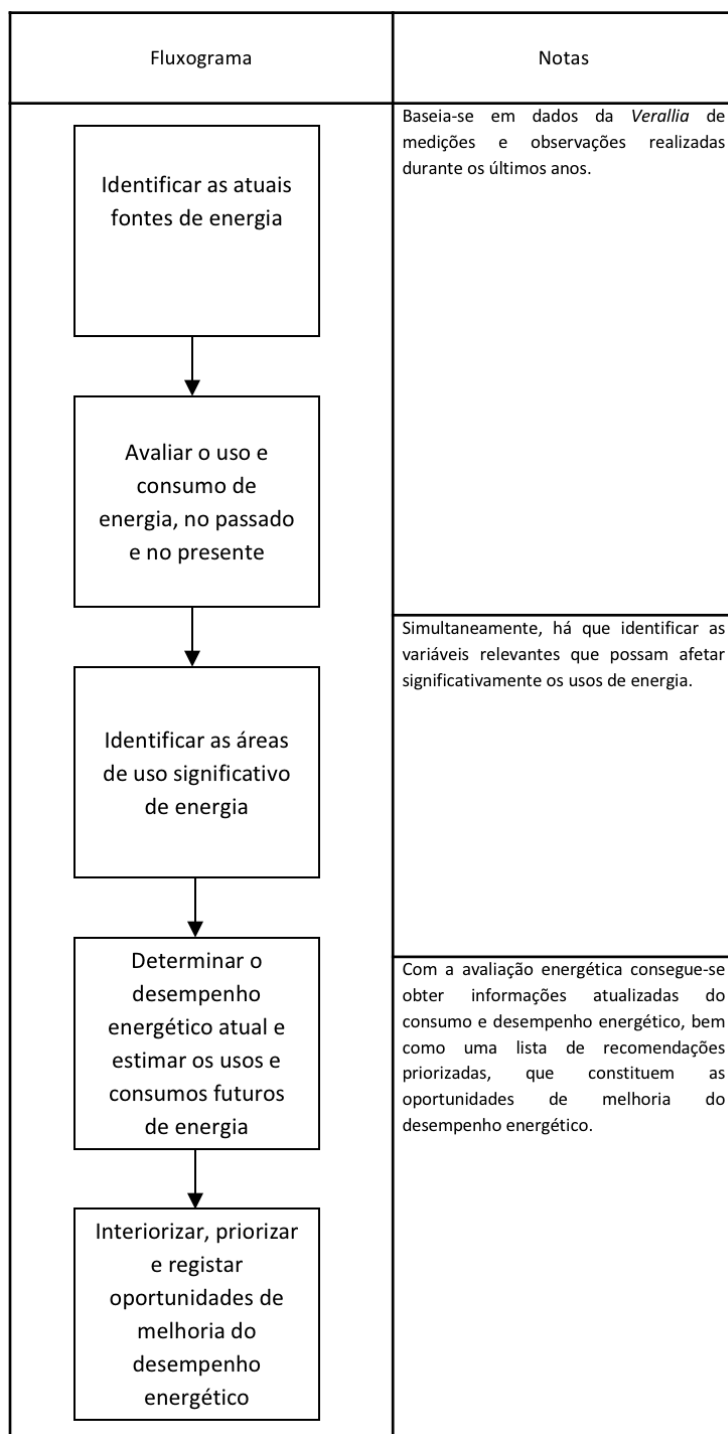


Figura 11 – Fluxograma da avaliação energética (adaptado de [17]).

### 1) Análise da utilização e consumo de energia

A análise da utilização e consumo de energia da *Verallia* tem por base os dados de energia recolhidos, provenientes das medições realizadas na empresa nos últimos anos, e consiste na identificação das fontes de energia e na avaliação dos usos e consumos de energia no passado e no presente.

Até 1998, o combustível utilizado para aquecimento para a fusão era o fuelóleo, e o gás propano era ainda utilizado para aquecimento noutras fases do processo. Entre 1999 e 2003, o gás natural passou a ser utilizado na fusão em conjunto com o fuelóleo em combustão mista. A partir de 2004, o gás natural é o combustível utilizado no aquecimento de fornos de fusão, *feeders*, arcas de recozimento, arca de serigrafia, fornos de retração, fornos de aquecimento de moldes e caldeiras dos banhos, sendo o fuelóleo o combustível de reserva para o forno em situações de falha de abastecimento de gás natural, que são muito raras. O consumo de fuelóleo é geralmente irrelevante, sendo este utilizado apenas em testes de funcionamento do sistema de reserva.

A energia elétrica é recebida em alta tensão (60 kV) e distribuída em média tensão (30 kV), a partir de postos de transformação próprios da empresa. A energia elétrica foi desde sempre utilizada nos equipamentos produtivos e para usos gerais, e o gasóleo utilizado nos equipamentos móveis, veículos afetos à produção e em geradores de emergência.

Na Figura 12 apresentam-se as entradas de energia utilizadas em cada etapa do processo de fabrico. A utilização de ar comprimido e de água significam a utilização indireta de energia elétrica, no sistema de compressores e de bombeamento de água, respetivamente.

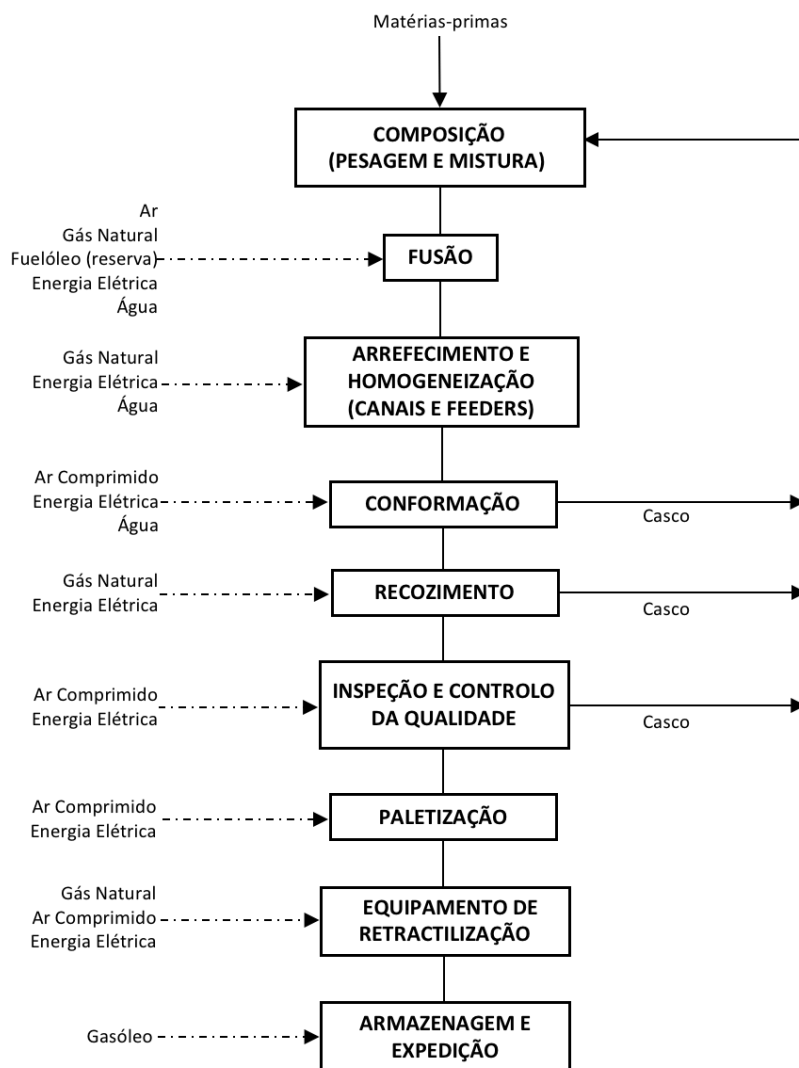


Figura 12 – Fluxograma do processo produtivo da Verallia.

A Tabela 6 especifica qual o uso da energia consumida, ou seja, qual a finalidade da aplicação da energia em determinado equipamento ou fase do processo produtivo.

Tabela 6 – Usos de energia no processo produtivo da Verallia.

Tipo de Energia	Uso de Energia	Equipamentos / Etapa do Processo
Ar comprimido	transporte e movimentos	composição
	transporte e movimentos	electrofiltro
	corte, movimentos e sopro	máquinas IS
	limpeza, corte, movimentos	oficinas
	movimentos e pressão em vácuo	paletizadores
	sopro	máquinas de inspeção
Energia elétrica	força motriz para funcionamento de equipamentos	todo o processo
	geração de movimento em motores elétricos	todo o processo
	aquecimento / criação de correntes de convecção	fusão, arrefecimento e homogeneização
	produção de ar comprimido	apoio ao processo
	ventilação	fusão, arrefecimento e homogeneização, conformação
	bombeamento de água de refrigeração	fusão, arrefecimento e homogeneização, conformação
	iluminação e tomadas	apoio ao processo
	eletrónica, processamento de informação	apoio ao processo
	AVAC	gabinetes, escritórios
Gás natural	aquecimento de fornos, <i>feeders</i> , arcas	fusão, arrefecimento e homogeneização, recozimento, reutilização
	aquecimento de águas (caldeiras)	apoio ao processo
Gasóleo	combustível para equipamentos móveis (empilhadores)	armazenagem e expedição
	geração de energia elétrica	sistema de reserva (em caso de falha de fornecimento de energia elétrica)
	caldeiras de aquecimento de fuelóleo	sistema de reserva (em caso de falha de fornecimento de gás natural)
Fuelóleo	combustível de reserva para fornos	fusão (em caso de falha de fornecimento de gás natural)

Na Tabela 7 apresentam-se os consumos de cada tipo de energia, durante o ano de 2015.

Tabela 7 – Consumos de cada tipo de energia em 2015 na Verallia.

Tipo de Energia	Consumo de energia <sup>(1)</sup>	Toneladas equivalentes de petróleo <sup>(2)</sup>
Gás natural	31 359 073 Nm <sup>3</sup>	28 383 tep
Eletricidade	62 558 877 kWh	13 450 tep
Gasóleo	124 225 L	110 tep

(1) O volume de um gás depende da sua pressão e temperatura; de forma a normalizar o volume de gás natural para comparação, utiliza-se como unidade o Nm<sup>3</sup> (metro cúbico normal), que expressa o volume do gás nas condições normais: pressão de 1,01325 bar (1 atm) e temperatura de 0 °C (273,15 K).

(2) Para as conversões de unidades de energia foram utilizados os fatores de conversão constantes do Despacho n.º 17313/2008 (Gás natural: PCI = 1,077 tep/ton, Peso específico = 0,8404 kg/Nm<sup>3</sup>; Gasóleo: PCI = 1,034 tep/ton, Peso específico = 0,8350 kg/Nm<sup>3</sup>) e no Decreto-Lei n.º 71/2008 (Energia elétrica: 2,15 · 10<sup>-4</sup> tep/kWh).

Para avaliar o consumo de energia, de forma a comparar o poder calorífico das diferentes formas de energia, é necessária uma unidade comum, como a apresentada na Tabela 7 – toneladas equivalentes de petróleo – que corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão, e que é a unidade de energia habitualmente utilizada.

No entanto, a unidade de energia mais utilizada na *Verallia*, é o kWh. Além disso, como o consumo energético da *Verallia* varia com a produção e esta não está diretamente relacionada com a eficiência energética, utiliza-se frequentemente uma unidade de consumo específico, o kWh/tVF (quilowatt-hora por tonelada de vidro fundido), de forma a expurgar o desempenho energético do fator produção. A determinação do consumo específico é uma medida da eficiência energética do processo: quanto maior a quantidade de energia necessária por tonelada de vidro fundido, menor a eficiência energética do processo. Para a avaliação energética da *Verallia*, decidiu-se adotar esta unidade de consumo específico de energia (kWh/tVF).

A maior parte da energia consumida no processo provém do gás natural, seguindo-se a energia elétrica (Tabela 8). O consumo de gásóleo é relativamente pequeno e o de fuelóleo, quando existe, é irrelevante para o consumo global, pelo que se decidiu não o considerar na análise.

**Tabela 8 – Consumos e custos específicos anuais para os diferentes tipos de energia.**

			GLOBAL <sup>(1)</sup>	GÁS NATURAL <sup>(2,3)</sup>	ELETRICIDADE	GASÓLEO <sup>(2,3)</sup>
2015	CONSUMO ESPECÍFICO	kWh/tVF	1 519,2	1 274,1	240,4	4,8
		%	100 %	83,9 %	15,8 %	0,3 %
	CUSTO ESPECÍFICO	€/tVF	66,2	45,8	20,0	0,4
2014	CONSUMO ESPECÍFICO	kWh/tVF	1 510,7	1 262,9	242,0	5,6
		%	100 %	83,6 %	16,0 %	0,4 %
	CUSTO ESPECÍFICO	€/tVF	70,0	50,3	19,2	0,6
2013	CONSUMO ESPECÍFICO	kWh/tVF	1 540,7	1 291,2	243,8	5,6
		%	100 %	83,8 %	15,8 %	0,4 %
	CUSTO ESPECÍFICO	€/tVF	70,3	49,5	20,2	0,6
2012	CONSUMO ESPECÍFICO	kWh/tVF	1 500,9	1 256,8	243,0	1,0
		%	100 %	83,7 %	16,2 %	0,06 %
	CUSTO ESPECÍFICO	€/tVF	69,7	49,5	20,2	0,04
2011	CONSUMO ESPECÍFICO	kWh/tVF	1 500,9	1 256,8	243,0	1,0
		%	100 %	83,7 %	16,2 %	0,06 %
	CUSTO ESPECÍFICO	€/tVF	69,7	49,5	20,2	0,04

(1) De notar que nesta análise se somam kWh elétricos e kWh térmicos, para determinar consumo total de energia em kWh. Esta distinção é usual para a produção de eletricidade numa central termoelétrica; um kWh elétrico e um kWh térmico não têm igual valor dado que a transformação de energia térmica em energia elétrica não pode ser feita sem perdas, apresentando um rendimento da ordem dos 40 %, enquanto a conversão de energia elétrica em energia térmica é praticamente total.

(2) A queima de gás natural e de gásóleo produz vapor de água que não é utilizado, o que corresponde a energia perdida na combustão. Para conversão das quantidades de gás natural e gásóleo consumidos, das suas unidades habituais para kWh, utiliza-se o poder calorífico inferior do combustível (PCI), uma vez que este não considera a energia gasta na vaporização da água.

(3) Fatores de conversão – Gás natural: PCI = 10,57 kWh/Nm<sup>3</sup> (valor médio em 2015, dado pelo fornecedor); Gásóleo: PCI = 43,3 MJ/kg ( Despacho n.º 17313/2008); 1 kWh = 3,6 MJ [32].

A contribuição percentual de cada tipo de energia no global consumido pode ser visualizada nos gráficos da Figura 13. A energia elétrica torna-se mais relevante numa análise em termos de custos.

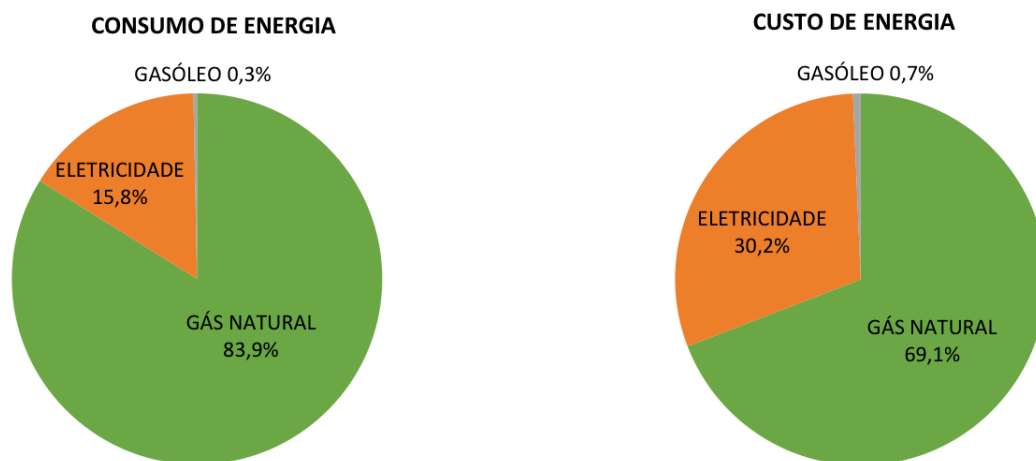


Figura 13 – Contribuições percentuais dos tipos de energia em termos de consumos e custos.

O consumo de gás natural dá-se maioritariamente nos fornos, uma fatia ainda relevante é consumida nos canais e *feeders*, e o restante nas arcas de recozimento e outros (Figura 14).

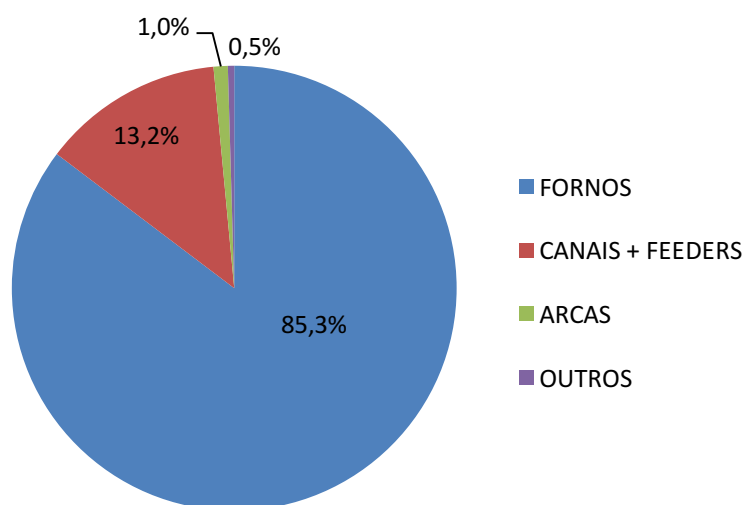
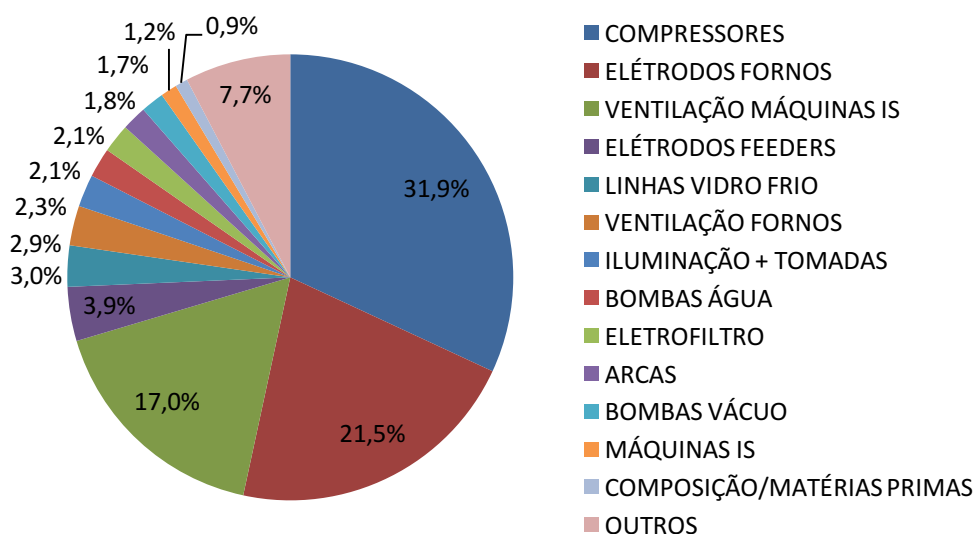


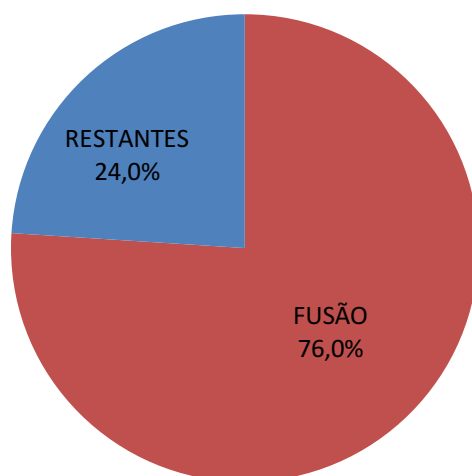
Figura 14 – Desagregação dos consumos de gás natural por equipamentos.  
(OUTROS: FORNOS RETRÁTEIS, FORNOS DE MOLDES, BALNEÁRIOS E SERIGRAFIA.)

O consumo de energia elétrica divide-se por uma série de equipamentos produtivos. Os consumos mais relevantes estão associados à produção de ar comprimido, ao reforço elétrico nos fornos e à ventilação das máquinas de conformação (Figura 15).



**Figura 15 – Desagregação dos consumos de energia elétrica por equipamentos.**  
(OUTROS: ESCRITÓRIOS, ETARI, SERIGRAFIA, VENTILAÇÃO FEEDERS, MACEIRAS, SECADORES, GERADORES, ETC.)

O processo de fusão é o grande consumidor de energia da instalação, o seu consumo de gás natural e energia elétrica corresponde a 76 % do consumo global em 2015 (Figura 16).



**Figura 16 – Contribuição percentual do consumo de energia da fusão em 2015.**

Ao longo de todo o trabalho, bem como na avaliação energética em particular, é dado destaque à informação relativa aos fornos da *Verallia*, dado que são os grandes consumidores de energia da instalação. A Tabela 9 resume as características gerais de cada um dos fornos, e em seguida apresentam-se os seus balanços energéticos determinados no âmbito da auditoria energética externa (Figura 17 e 18).

Tabela 9 – Características dos fornos de fusão da Verallia.

Características do forno	Forno 1	Forno 2
Tipo de forno	Regenerativo	Regenerativo
Tipo de chama	Ferradura	Ferradura
Área do tanque de fusão	122 m <sup>2</sup>	122 m <sup>2</sup>
Capacidade de produção teórica	450 ton	450 ton
Inversão do ciclo de regeneração	20 min	20 min
Temperatura de fusão	1600 °C	1600 °C
Número de queimadores	2 x 3	2 x 3
Combustível	Gás natural	Gás natural
Capacidade de reforço instalada	1100 kW	1650 kW
Cores de vidro produzidas	Âmbar, branco	Verde, canela

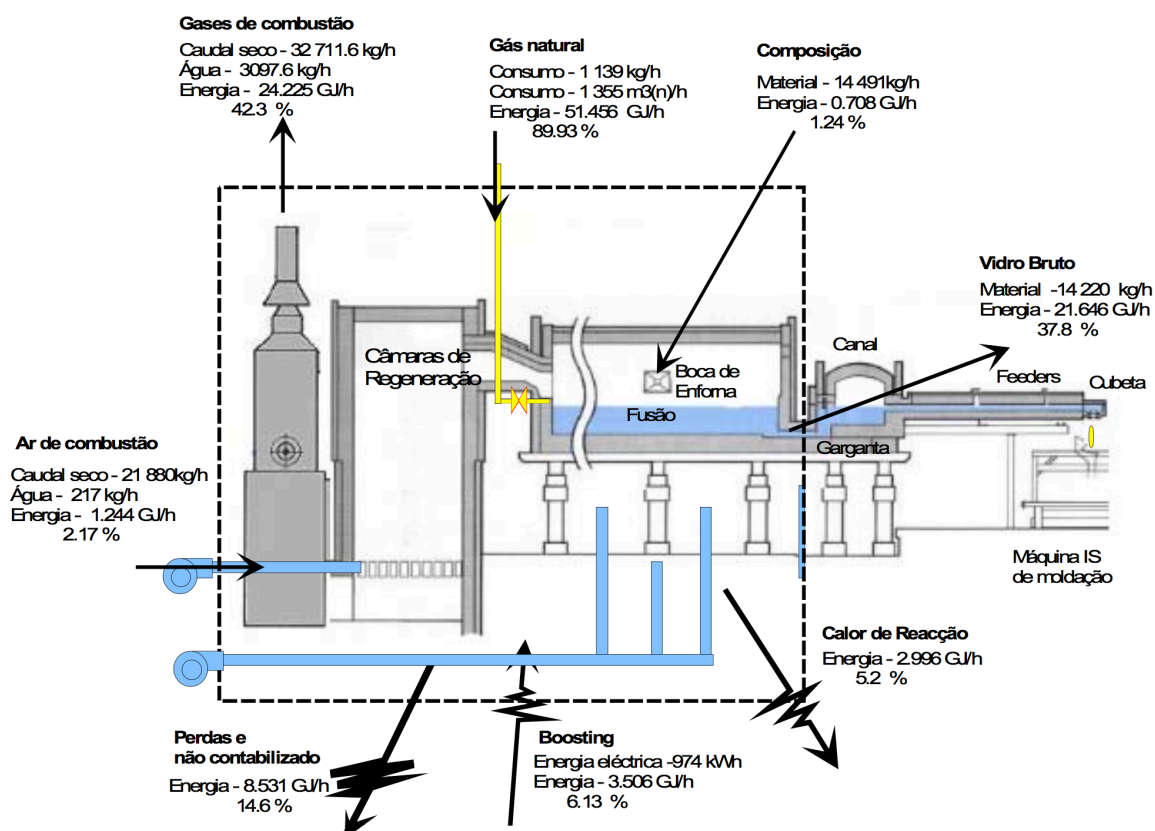


Figura 17 – Ilustração do balanço energético do Forno 1 [33].

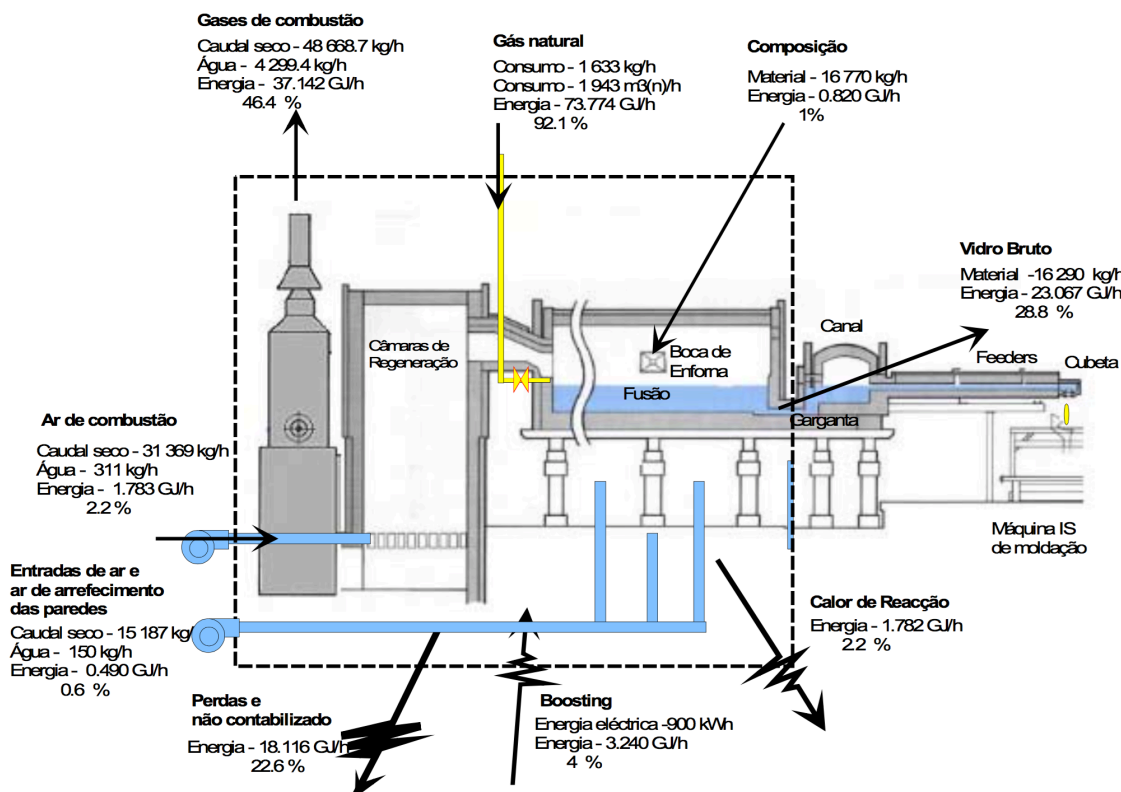


Figura 18 – Ilustração do balanço energético do Forno 2 [33].

O consumo específico de energia global da *Verallia* tem vindo a oscilar nos últimos quatro anos (Figura 19), tendo descido em 2014, após uma reparação do Forno 1 (substituição do refratário), que contribuiu para a diminuição do consumo de gás natural neste forno. Com a realização de uma reparação do mesmo género no Forno 2 no final de 2015, é expectável uma futura diminuição do consumo específico global.

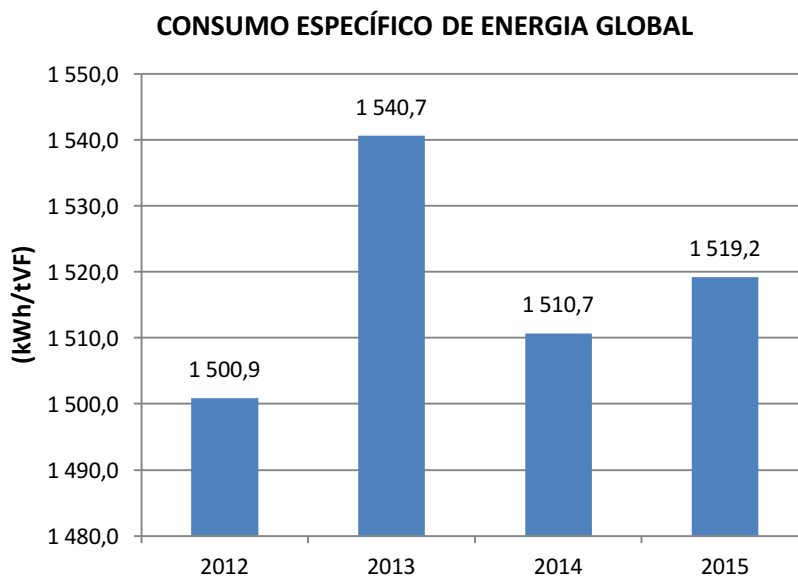


Figura 19 – Consumo específico de energia global da *Verallia* nos últimos quatro anos.



Durante o ano de 2015, como se pode observar no gráfico da Figura 20, o Forno 1 apresenta um consumo específico de energia inferior ao do Forno 2 em praticamente todos os meses, o que se deve à referida reparação levada a cabo no início de 2014.

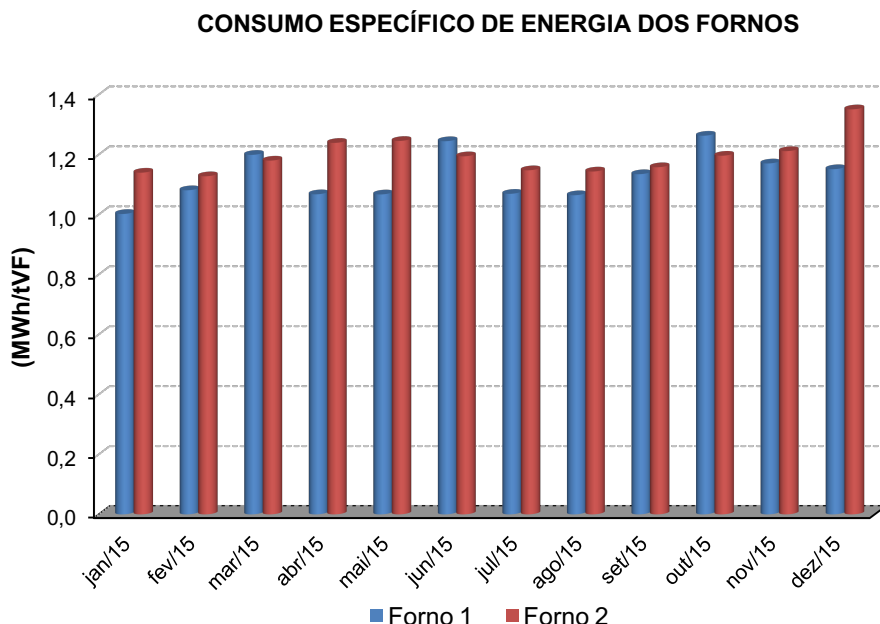


Figura 20 – Consumo específico de energia dos fornos da *Verallia* em 2015.

## 2) Identificação das áreas de uso significativo de energia

A identificação de áreas com usos significativos de energia é uma condição necessária para otimizar o processo de melhoria do desempenho energético. Um uso de energia identificado como significativo é alvo de uma atenção especial, dentro do SGE.

Para identificar os equipamentos ou sistemas que afetam mais significativamente o uso e consumo de energia, recorreu-se a uma avaliação de significância de todos os usos de energia da *Verallia*, segundo o critério descrito em seguida.

O critério definido para a avaliação da significância de um uso de energia é o “consumo substancial de energia”, como designado pela Norma ISO 50001. O critério de consumo de energia é avaliado com uma pontuação de 1 a 5 atribuída com base na escala apresentada na Tabela 10. Um uso de energia correspondente a um consumo de energia maior que 0,5 % é considerado um uso significativo de energia.

De notar que um consumo de energia de 500 tep (2326 MWh), considerado pelo SGCIE como consumo intensivo de energia para uma empresa, é aqui considerado como consumo médio. A criação da métrica começou com esta comparação entre o consumo usos de energia da *Verallia* e o critério de consumo intensivo de energia do SGCIE, ajustando-se depois os valores para produzir uma métrica que se adaptasse às expectativas dos membros da equipa de energia e às práticas realizadas na organização.

Tabela 10 – Avaliação de significância – Critério de consumo substancial de energia.

	CONSUMO DE ENERGIA	> maior que	(MWh)
5	MUITO ELEVADO	51%	200 000
4	ELEVADO	5,1%	20 000
3	MÉDIO	0,51%	2 000
2	BAIXO	0,051%	200
1	MUITO BAIXO	0%	0

Neste ponto a Norma ISO 50001 pressupõe a possibilidade de, para além do critério do consumo de energia se avaliar também um segundo critério relativo ao potencial de melhoria. A este ponto (início da implementação do SGE), uma avaliação quantitativa deste critério não seria possível, dado que não existe um levantamento do potencial de redução de consumo de possíveis ações de melhoria para todos os usos de energia. Desta forma, optou-se por, numa primeira fase, limitar a escolha dos usos significativos àqueles que apresentam um consumo de energia substancial, deixando esta análise preparada para mais tarde acrescentar o segundo critério, quando for possível uma avaliação mais informada dos usos que terão um “potencial de melhoria considerável”, como designado pela Norma ISO 50001. Uma média das pontuações dadas segundo estes critérios será utilizada para avaliar o grau de significância.

Atualmente, a pontuação dada ao critério de consumo de energia define o grau de significância de um uso de energia, de 1 – Não significativo a 5 – Extremamente significativo (Tabela 11). Para os usos classificados como Pouco ou Não significativos devem realizar-se ações apenas se justificado o porquê (indicações legais, de grupo, etc.). Os Moderadamente, Muito ou Extremamente significativos são integrados no sistema de gestão de energia como usos significativos de energia.

Tabela 11 – Graus de significância dos usos de energia.

GRAUS DE SIGNIFICÂNCIA	
5	EXTREMAMENTE SIGNIFICATIVO
4	MUITO SIGNIFICATIVO
3	MODERADAMENTE SIGNIFICATIVO
2	POUCO SIGNIFICATIVO
1	NÃO SIGNIFICATIVO

Tabela 12 – Resultado da avaliação de significância dos usos de energia.

USOS SIGNIFICATIVOS DE ENERGIA	GRAU DE SIGNIFICÂNCIA
FORNOS	EXTREMAMENTE SIGNIFICATIVO
CANAIS + FEEDERS	MUITO SIGNIFICATIVO
COMPRESSORES	MUITO SIGNIFICATIVO
VENTILADORES DE MÁQUINAS IS	MODERADAMENTE SIGNIFICATIVO
ARCAS DE RECOZIMENTO	MODERADAMENTE SIGNIFICATIVO

A Tabela 12 apresenta o resultado da avaliação de significância para os usos considerados como significativos; a avaliação completa, para todos os usos de energia, apresenta-se na Tabela 13. Para avaliação final (Tabela 12) e seguimento futuro, alguns usos de energia foram agrupados por equipamentos, nomeadamente o uso de gás natural e de energia elétrica nos eletrodos de fornos e *feeders*, dado que as variáveis de relevância para o seu consumo são as mesmas, assim como os controlos operacionais com eles relacionados.

Tabela 13 – Matriz de avaliação de significância dos usos de energia.

AVALIAÇÃO DE SIGNIFICÂNCIA		
GÁS NATURAL	Consumo (%)	
FORNOS	72,7 %	5
CANAIS + <i>FEEDERS</i>	10,1 %	4
ARCAS DE RECOZIMENTO	0,73 %	3
FORNOS RETRÁCTEIS	0,23 %	2
SERIGRAFIA	0,08 %	2
BALNEÁRIOS	0,02 %	1
FORNOS DE MOLDES	0,005 %	1
ENERGIA ELÉTRICA	Consumo (%)	
AR COMPRIMIDO	5,1 %	4
ELÉTODOS DE FORNOS	3,3 %	3
VENTILAÇÃO DE MÁQUINAS IS	2,7 %	3
ELÉTODOS DE <i>FEEDERS</i>	0,62 %	3
VENTILAÇÃO DE FORNOS	0,50 %	2
LINHAS DE VIDRO FRIO	0,47 %	2
BOMBAS DE ÁGUA	0,36 %	2
ILUMINAÇÃO + TOMADAS	0,34 %	2
ELETROFILTRO	0,30 %	2
ARCAS DE RECOZIMENTO	0,28 %	2
BOMBAS DE VÁCUO	0,20 %	2
MÁQUINAS IS	0,20 %	2
COMPOSIÇÃO/MATÉRIAS-PRIMAS	0,17 %	2
ESCRITÓRIOS	0,04 %	1
ETARI	0,02 %	1
SERIGRAFIA	0,02 %	1
OUTROS COMBUSTÍVEIS	Consumo (%)	
GASÓLEO	0,32 %	1
FUELÓLEO	0 %	1

Como se pode observar através da análise do diagrama de Pareto dos consumos de energia correspondentes aos usos significativos de energia (Figura 21), o conjunto de: gás natural e energia elétrica consumidos nos fornos (76 %), gás natural e energia elétrica consumidos nos canais e *feeders* (cerca de 11 %), a energia elétrica usada na produção de ar comprimido (5 %), a energia elétrica na ventilação das máquinas de moldação (cerca de 3 %) e o gás natural consumido nas arcas de recozimento (menos de 1 %), é responsável por 95 % dos consumos de energia da *Verallia*.

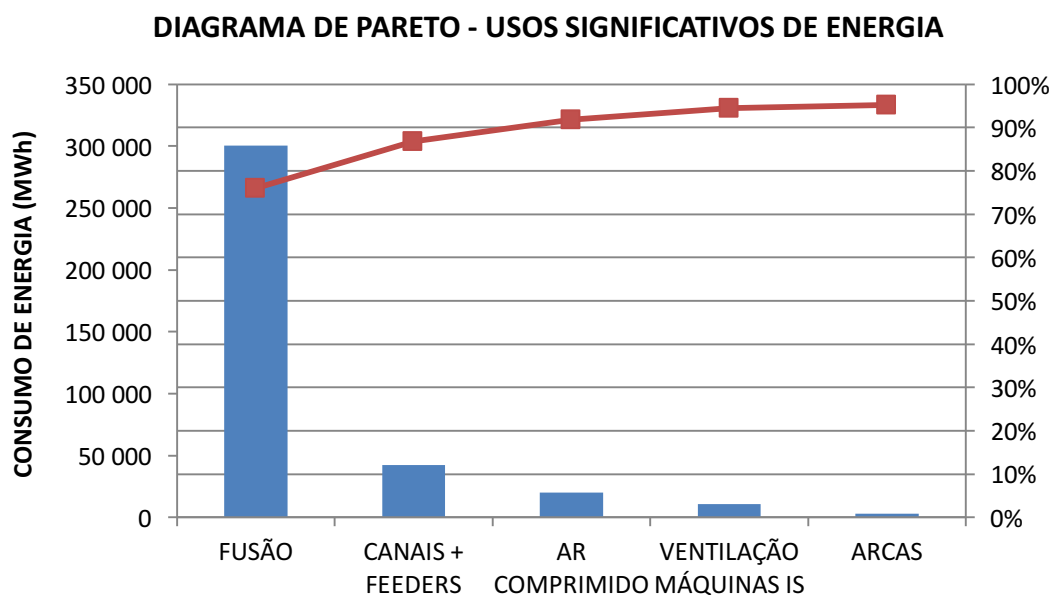


Figura 21 – Diagrama de Pareto relativo a consumos dos usos de energia (2015).

Os usos significativos de energia têm os seus consumos monitorizados numa base regular, definida caso a caso, a sua performance é avaliada através da determinação de indicadores e são considerados áreas de intervenção prioritária na identificação das oportunidades de melhoria.

### 3) Variáveis relevantes que influenciam o desempenho energético

Tabela 14 – Variáveis relevantes para o consumo dos usos significativos de energia.

	Variáveis Relevantes	Seguimento	Registo
<b>Fornos de Fusão</b>	Extração (tVF)	Diário	Mapa de produção
	% Casco	Diário	Mapa de produção
	% O <sub>2</sub>	Tempo real (quadro sinóptico)	Controlo de operação (fusão)
	% Humidade	Tempo real (quadro sinóptico)	Controlo de operação (fusão)
	Temp. fusão (°C)	Tempo real (quadro sinóptico)	Mapa de produção
	Temp. garganta (°C)	Tempo real (quadro sinóptico)	Mapa de produção
<b>Canaís + Feeders</b>	Extração (tVF)	Diário	Mapa de produção
	Temp. garganta (°C)	Tempo real (quadro sinóptico)	Mapa de produção
<b>Compressores</b>	Velocidade máquinas IS	Diário	Mapa de produção
	Número de secções	Diário	Mapa de produção
	Tamanho do modelo	Diário	Mapa de produção
	Tipo de processo	Diário	Mapa de produção
<b>Ventiladores de Máquinas IS</b>	Velocidade máquinas IS	Diário	Mapa de produção
	Número de secções	Diário	Mapa de produção
	Tamanho do modelo	Diário	Mapa de produção
<b>Arcas de Recozimento</b>	Velocidade máquinas IS	Diário	Mapa de produção
	Toneladas enforçadas	Diário	Mapa de produção

Paralelamente ao seguimento dos usos significativos de energia, é feito um acompanhamento de variáveis relevantes que afetam significativamente o seu consumo de forma a poder controlar e avaliar o seu desempenho energético, tendo em conta os fatores que podem influenciar os resultados. Um levantamento geral das variáveis que mais afetam o consumo de energia dos usos considerados como significativos, e do seu seguimento e registo de valores, é apresentado na Tabela 14.

Uma vez mais, devido à importância da fusão na componente energética do processo, dá-se especial atenção aos fornos de fusão também no que se refere à identificação e seguimento de variáveis relevantes.

Como discutido no Capítulo 3, os fatores de maior impacto na eficiência energética do processo de fusão do vidro são pensados aquando do projeto da instalação, quando não existem limitações de infraestrutura, ou da construção de novos fornos ou reconstrução dos existentes.

Ainda assim, o controlo de determinados parâmetros durante o funcionamento de um forno é essencial para garantir condições de fusão que garantam a melhor performance energética do processo e um produto de qualidade. De todos os parâmetros de controlo do processo de fusão, os que mais afetam o seu consumo energético são os seguintes:

- humidade da composição;
- excesso de ar no processo de combustão;
- temperatura de saída do vidro fundido;
- taxa de extração de vidro fundido;
- incorporação de casco na composição;
- envelhecimento do forno.

Tabela 15 – Variações no consumo de energia por modificações de parâmetros de fusão (adaptada de [29]).

Características do processo de fusão	
Tipo de vidro	Vidro de embalagem verde
Tipo de forno	Regenerador de fogo frontal
Reforço elétrico	S/ reforço
Combustível	Gás natural
Extração (tVF/dia)	260
Humidade da composição (%)	2,5
Incorporação de casco (%)	83
Eficiência do regenerador <sup>(1)</sup> (%)	60
Excesso ar de combustão (%)	7,5
Temperatura de saída do vidro (°C)	1340
Variações nos parâmetros	Consumo de energia extra
- 1 % de humidade	- 2 %
+ 5 % de excesso de ar de combustão	1,7 %
- 10 °C de temperatura de saída do vidro	- 1,1 %
+ 10 % de extração	- 1,9 %
+ 10 % de casco	- 3,1 %

(1) Rácio entre o calor sensível transferido para o ar de combustão e o calor sensível dos gases de exaustão (referência: T = 0 °C).

A escolha destas variáveis como mais relevantes em termos energéticos assentou na pesquisa bibliográfica efetuada, bem como na experiência dos responsáveis da *Verallia*. A Tabela 15 permite quantificar a sua influência no consumo de energia com base num modelo de balanço energético de um forno. O forno considerado no modelo é em tudo semelhante aos fornos da *Verallia*, mas sem reforço elétrico.

A presença de água na composição aumenta drasticamente a quantidade de energia necessária para a fusão, dado que é necessária energia extra para evaporar esta água, com elevada entalpia de evaporação. No entanto, alguma humidade é necessária para evitar a separação de componentes e perdas de composição durante o transporte e carga do forno [29]. Além disso, um valor de humidade muito baixo provoca um grande aumento das poeiras (emissões difusas para a atmosfera).

Grandes excessos de ar de combustão ou de nível de oxigénio diminuem a temperatura conseguida no seu pré-aquecimento nas câmaras regeneradoras. Este parâmetro é controlado através da monitorização da quantidade de oxigénio presente nos gases de exaustão.

Controlar a temperatura do vidro fundido à saída do forno, mantendo-a no nível mínimo permitido pode diminuir o consumo de energia, mas o efeito é pouco significativo e pode provocar problemas, incluindo o aumento da energia consumida a jusante no processo (acondicionamento).

À medida que a idade do forno aumenta, a sua eficiência térmica diminui. Com o aproximar do final da sua vida, o consumo de energia por tonelada de vidro fundido pode ser até 20 % superior ao inicial [28]. O coeficiente de envelhecimento (Equação 2), presente na equação de consumo energético teórico dos fornos de fusão (Equação 1) utilizada na *Verallia*, indica que a cada ano que passa desde a sua construção o consumo energético do forno aumenta 1,25 %.

A taxa de extração de vidro fundido afeta significativamente o consumo de energia do forno. Enquanto for possível o contínuo aumento da taxa de extração, o consumo de energia específico do forno diminui. No entanto, quando a extração é elevada até uma determinada taxa (extração por unidade de área da superfície de fusão), a qualidade do vidro pode sair prejudicada ou a capacidade do regenerador para pré-aquecimento efetivo do ar de combustão pode ser insuficiente, e a quantidade de energia necessária para mais incrementos de extração pode aumentar [29], [34].

O uso de casco pode reduzir significativamente o consumo de energia porque o calor necessário para fundir as matérias-primas já foi anteriormente fornecido [28], [29].

A equação de consumo energético teórico dos fornos de fusão (Equação 1) mostra a influência de algumas variáveis: o envelhecimento do forno, a taxa de extração e a percentagem de incorporação de casco.

$$E = k_o (A + B(1 - C\theta)T) - \frac{W}{D} \quad (1)$$

com

$$k_o = 1 + 0,0125(n/365) \quad (2)$$

$E$  - consumo total de gás natural ( $\text{Nm}^3$ );

$k_o$  - coeficiente de envelhecimento;

$n$  - número de dias desde a construção do forno;

$T$  - taxa de extração (ton/dia);

$\theta$  - percentagem de incorporação de casco;

$W$  - reforço elétrico (kWh/dia);

$A, B, C$  e  $D$  - constantes para um determinado vidro, forno e combustível.

Utilizando valores reais de consumo, e de outras variáveis e através de uma regressão linear com várias variáveis, prova-se a influência da taxa de extração, percentagem de incorporação de casco e envelhecimento do forno. A introdução de valores de outras variáveis na regressão linear permite confirmar se estas têm influência no consumo energético através da melhoria do coeficiente de correlação. A Tabela 16 apresenta o coeficiente de correlação para a regressão linear, relativamente ao consumo real de gás natural, com os valores reais das seguintes variáveis: 1) reforço elétrico, extração, percentagem de casco e coeficiente de envelhecimento; 2) reforço elétrico, extração, percentagem de casco, coeficiente de envelhecimento e temperatura de fusão; 3) reforço elétrico, extração, percentagem de casco, coeficiente de envelhecimento, temperatura de fusão e temperatura da garganta; 4) reforço elétrico, extração, percentagem de casco, coeficiente de envelhecimento, temperatura de fusão, temperatura da garganta e poder calorífico inferior do gás natural. Para continuar a melhorar a regressão linear poderiam introduzir-se valores de humidade da composição, temperatura da composição e temperatura do ar exterior, caso fosse possível obter os valores médios diários reais destas variáveis.

**Tabela 16 – Coeficiente de correlação da regressão linear com várias variáveis.**

	$r^2$
1)	0,9737
2)	0,9737
3)	0,9738
4)	0,9759

Para esta análise foram utilizados valores diários das variáveis em causa, medidos entre abril de 2014 e setembro de 2015, durante várias campanhas vidro branco, branco azulado e âmbar no Forno 1.

A melhoria do coeficiente de correlação sugere que as variáveis introduzidas têm alguma influência no consumo de combustível, mas também demonstra que essa influência não é relevante comparativamente à do conjunto reforço elétrico, extração, percentagem de casco e coeficiente de envelhecimento. Por isso, não se considera relevante para a *Verallia* o estabelecimento de uma relação com mais variáveis.

#### **4) Identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético**

A identificação de oportunidades de melhoria baseou-se na lista de recomendações para a melhoria do desempenho energético que consta dos resultados da auditoria energética externa

(Tabela 17), a que se acrescentou as propostas dos responsáveis dos departamentos com usos de energia significativos.

**Tabela 17 – Lista de recomendações para a melhoria do desempenho energético** (adaptada de [33]).

Oportunidades de Melhoria do Desempenho Energético	Tipo de energia	Economia <sup>(1)</sup> (tep/ano)	Economia <sup>(1)</sup> (tonCO <sub>2</sub> /ano)*	Payback <sup>(1)</sup> (ano)*
Reconstrução/reparação do material refratário do Forno 2	Gás Natural	1 955	5 247	4,4
Reconstrução/reparação do material refratário do canal e <i>feeders</i> do Forno 2	Gás Natural	185	404	8,69
Substituição da iluminação existente por tecnologia recente de iluminação	Energia Elétrica	70	153	4,06
Instalação de um sistema de gestão e monitorização dos consumos de energia	Gás Natural	272	730	0
	Energia Elétrica	130	284	
Total	-	2 612	6 818	4,1

(1) Estudos realizados no âmbito da auditoria energética externa pelo CTCV.

Depois de identificadas as várias oportunidades de melhoria, passou-se à determinação das prioridades de intervenção. Estabeleceu-se uma avaliação de prioridades tendo em conta três critérios para cada uma das medidas: a poupança de energia estimada, o investimento necessário, e o *payback* simples (indicativo do período de tempo que decorrerá até que o valor de poupanças atinja o capital investido). Estes critérios são classificados com uma pontuação relativa de 1 a 5, segundo a métrica apresentada na Tabela 18; a escolha dos intervalos considerados teve por base os valores obtidos para as medidas da Tabela 17, que se considerou ser um conjunto representativo da gama de valores que qualquer intervenção de melhoria, identificada futuramente, poderá atingir (considerou-se que uma intervenção da dimensão da reconstrução de um forno apresenta os valores máximos possíveis de redução do consumo energia estimada, investimento e *payback*, enquanto a instalação de um sistema de gestão e monitorização dos consumos de energia apresenta os valores mínimos possíveis para estes critérios).

**Tabela 18 – Critérios de priorização das oportunidades de melhoria do desempenho energético.**




Critérios	Escala de Classificação					Peso Relativo
	5	4	3	2	1	
Redução estimada no consumo de energia (%)	0 – 1 %	1 – 2 %	2 – 3 %	3 – 4 %	> 4 %	50 %
Tempo de retorno do investimento ( <i>payback</i> ) (ano)	> 4	3 – 4	2 – 3	1 – 2	0 – 1	25 %
Investimento (€)	> 1 000 000 €	> 100 000 €	> 10 000 €	> 1 000 €	> 0 €	25 %

$$\text{Priorização} = 0,5 \times \{\text{redução do consumo}\} + 0,25 \times \{\text{payback}\} + 0,25 \times \{\text{investimento}\} \quad (3)$$



A pontuação dada segundo estes critérios dá-nos uma primeira priorização das medidas, de acordo com a Equação 3. No entanto, para além dos critérios considerados, teve-se também em conta que a implementação de medidas relacionadas com os usos significativos de energia deve ter sempre prioridade, assim como as medidas recomendadas pelo grupo *Verallia*, e as que se consideram manutenção necessária; isto quantificou-se através da subtração de 0,33 à priorização obtida com a Equação 3 por cada uma destas considerações que se verificasse, de forma a que uma oportunidade de melhoria que corresponda a essas três situações desça um valor (1/3 por cada uma) na classificação de prioridades final (Tabela 19).

**Tabela 19 – Classificação de prioridades de intervenção.**

Avaliação	Prioridade
< 3	 Prioridade máxima
$\geq 3$ e $\leq 4$	 Prioridade média
> 4	 Prioridade mínima

A lista completa de oportunidades de melhoria priorizadas, classificadas de acordo com a Tabela 19 segundo a metodologia descrita, encontra-se na Tabela 21. As medidas que apresentaram maior prioridade foram: reconstrução do Forno 2, canal e *feeders* respetivos; reparação do isolamento dos *feeders* do Forno 1 (*feeder* 11 e 12); terminar a instalação de um sistema de gestão e monitorização dos consumos de energia; reparação do compressor C100 (avariado) e criação de uma base de dados de energia que facilite o seguimento dos indicadores de desempenho energético. A obra de reparação do forno e canais e *feeders* associados permite repor as condições de isolamento térmico, e minimizar as perdas térmicas durante a fusão e acondicionamento.

O sistema de supervisão dos consumos de energia é ainda suscetível de sofrer alterações, de forma a otimizar o tratamento da informação através do *software*, para que este possa tratar e analisar os indicadores de performance energética automaticamente e em tempo real, a partir dos consumos disponibilizados pelo sistema de monitorização de energia atualmente instalado. Estima-se que a otimização deste sistema possa permitir obter uma poupança de energia de 1 % do consumo anual de gás natural e 1 % do consumo anual de energia elétrica.

### 5) *Benchmarking*

O *benchmarking* fornece informação importante para uma objetiva avaliação energética. Um *benchmarking* externo que visa estabelecer a posição de desempenho na indústria foi levado a cabo com base nos dados energéticos da média da indústria Vidreira fornecidos pelo CTCV no relatório de desempenho ambiental anual das empresas associadas da AIVE (Associação de Industriais de Vidro de Embalagem) (Tabela 20). Comparando com os dados fornecidos pela AIVE para *benchmarking* do sector, a *Verallia* apresenta consumos específicos de energia abaixo da média nacional da indústria vidreira.

Tabela 20 – *Benchmarking* externo relativo ao consumo de energia.

	Consumos energéticos específicos da <i>Verallia</i> (2014)	Dados <i>Benchmarking</i> AIVE (2013)
Global	5,4	6,1
Elettricidade	0,9	1,1
Gás natural	4,6	5,0

Periodicamente realiza-se também um *benchmarking* interno, que tem por objetivo destacar boas práticas entre as fábricas do grupo *Verallia*, onde os consumos energéticos são sempre comparados e avaliados.

Tabela 21 – Lista de oportunidades de melhoria do desempenho energético priorizada.

Oportunidades de Melhoria do Desempenho Energético	Redução estimada no consumo de energia	Tempo de retorno do investimento (payback)	Investimento	Uso significativo de energia	Indicação do grupo	Manutenção necessária	Prioridade		Observações
<b>Gás Natural</b>									
Reconstrução / reparação do material refractário do Forno 2 de forma a repor as condições de isolamento térmico e minimizar as perdas térmicas.	1	5	5	✓	✓	✓	2,0	●	Investimentos acima dos 10.000€, implicam a realização de uma proposta à direção da empresa - APROVADO.
Reconstrução / reparação do material refractário do canal e feeders do Forno 2 de forma a repor as condições de isolamento térmico e minimizar as perdas térmicas.	5	5	4	✓	✓	✓	3,8	●	Investimentos acima dos 10.000€, implicam a realização de uma proposta à direção da empresa - APROVADO.
Reparação do material refractário dos feeders do Forno 1 (11 e 12) de forma a minimizar as perdas térmicas.	5	1	3	✓	✗	✗	3,2	●	Investimentos acima dos 10.000€, implicam a realização de uma proposta à direção da empresa - APROVADO.
Instalação de um Sistema de Gestão e Monitorização dos Consumos de Energia (continuação).	4	1	1	✗	✗	✗	2,5	●	Continuação da implementação do CIRCUTOR em 2016.
<b>Energia Elétrica</b>									
Reparação do compressor C100 (avariado).	5	4	4	✓	✗	✓	3,8	●	Investimentos acima dos 10.000€, implicam a realização de uma proposta à direção da empresa.
Substituição da iluminação existente por tecnologia recente de iluminação.	5	5	4	✗	✗	✗	4,8	●	Implementação faseada não implica um investimento tão elevado.
Instalação de um Sistema de Gestão e Monitorização dos Consumos de Energia (continuação).	4	1	1	✗	✗	✗	2,5	●	Continuação da implementação do CIRCUTOR em 2016.
<b>Global / Sistema de Gestão de Energia</b>									
Criação de uma base de dados de energia que facilite o seguimento dos indicadores de desempenho energético.	5	1	1	✗	✗	✗	3,0	●	Implementar em 2016.

### 4.3.3. Consumo energético de referência

O consumo energético de referência reflete um período de tempo definido, geralmente um ano, a utilizar como referencial, face ao qual se avaliam as alterações ao desempenho energético. Deverá ser ajustado caso os indicadores de desempenho deixem de refletir o uso e consumo de energia ou ocorram alterações significativas no processo, nos padrões operacionais ou nos sistemas de energia. Para este requisito, entendeu-se por bem criar três referenciais diferentes que permitem avaliações distintas da evolução dos consumos energéticos:

- Para comparação futura com o período pré-implementação do SGE segundo a Norma ISO 50001, estabeleceu-se o consumo energético do ano de 2015 como consumo energético de referência fixo;
- Será também utilizado um outro referencial que reflita a situação energética mais recente da organização, o valor médio do consumo específico global (kWh/tVF) do ano anterior, para comparação do consumo corrente de cada uso significativo de energia;
- Para o caso da energia de fusão, o consumo energético de referência foi operacionalizado através do estabelecimento de uma linha de base energética para cada forno obtida da equação de consumo energético teórico dos fornos (Equação 1).

Meses atípicos, com paragem de produção para reparação dos fornos, por exemplo, podem ser retirados da determinação dos consumos energéticos de referência; neste caso, deverá ser feita uma extrapolação do consumo para estes meses baseada nos restantes meses do ano.

### 4.3.4. Indicadores de desempenho energético

Os indicadores de desempenho energético (IDE) permitem medir e monitorizar o desempenho energético global e dos usos significativos de energia em particular. Têm por objetivo permitir o seguimento da evolução dos consumos energéticos, e traduzir em que medida as alterações ao desempenho energético representam um aumento/diminuição da eficiência energética.

Os IDE em uso na *Verallia*, embora adequados ao processo de avaliação do desempenho energético, não davam informação sobre a globalidade da unidade fabril, não englobavam todos os usos que foram considerados como significativos (ventilação de máquinas IS, *feeders* e arcas), não tinham uma estrutura definida nem um procedimento geral de determinação e seguimento. No âmbito deste estágio, colmataram-se estas falhas.

De forma a estruturar e organizar a metodologia associada à determinação de indicadores energéticos na *Verallia*, criaram-se critérios de classificação que permitem agrupar os IDE por famílias de tipos ou níveis.

#### 1) Classificação de indicadores de desempenho energético por tipologia

Os IDE escolhidos para a determinação e seguimento do desempenho energético da *Verallia* são métricas simples ou rácios, que correspondem a um dos seguintes tipos:

- **Tipo 1 – Consumos de energia** – Trata-se de indicadores absolutos, que apresentam o valor do consumo de energia numa determinada unidade adequada. Permitem seguir a evolução dos consumos energéticos, mas não a avaliação do desempenho energético. O consumo específico de energia é um indicador mais rico e interessante.

- **Tipo 2 – Consumos específicos de energia** – O consumo energético da *Verallia* sofre alterações face às suas variações de produção. Um aumento da produção geralmente reflete-se num aumento do consumo energético, mas esse facto não traduz necessariamente um pior desempenho a nível de eficiência energética. A determinação de consumos específicos permite avaliar a quantidade de energia necessária para a mesma quantidade produção, ou seja, a eficiência energética do processo.

$$CEE = \frac{\text{Consumo de energia total}}{\text{Produto produzido}}$$

O consumo específico de energia reflete diretamente o consumo de energia, geralmente em kWh, por produto produzido que, neste caso, se contabiliza em toneladas de vidro fundido. É calculado pelo menos para cada uso de energia considerado como significativo, e para cada vetor energético utilizado.

- **Tipo 3 – Índice percentual do consumo total** – Tem por objetivo verificar o impacto de cada uso de energia face ao consumo total da *Verallia*. Este tipo de indicadores é determinado apenas anualmente, aquando da atualização da avaliação energética.
- **Tipo 4 – Outros indicadores** – Outros indicadores, relativos a variáveis que produzem efeitos significativos nos consumos de energia, podem ser seguidos em simultâneo com os indicadores dos primeiros tipos. Estes indicadores correspondem geralmente aos indicadores de nível 4 – variáveis relevantes, na classificação por níveis (ponto 2). Pode ser relevante a determinação de outros indicadores (por exemplo, fugas resolvidas (%) ou eficiência (kW/100m<sup>3</sup>), para o caso do sistema de ar comprimido) para estudos específicos de eficiência energética, e para o seguimento de medidas de melhoria do desempenho energético.

Indicadores do tipo 1, 2 e 3 foram utilizados na avaliação energética da *Verallia*.

## 2) Classificação de indicadores de desempenho energético por níveis

Os IDE também podem ser classificados em níveis distintos, de acordo com o objeto que se pretende avaliar em termos de desempenho energético (Figura 22). Caso se pretenda saber o desempenho da globalidade da instalação industrial recorre-se a um IDE de nível 1, mas para a eficiência energética de um grupo de equipamentos específico terá de se determinar um IDE de nível 4 ou 5. A hierarquia de níveis criada segue a correspondência apresentada, e o código de cores é respeitado em todos os esquemas apresentados.

Para acompanhar a evolução de um indicador energético é necessário identificar e seguir também as variáveis que influenciam o consumo de energia. Para cada uso significativo de energia há um conjunto de variáveis relevantes, que são monitorizadas e consideradas na interpretação dos resultados da avaliação de desempenho energético, que são consideradas nesta hierarquia, elas próprias, como IDE.



Figura 22 – Níveis de indicadores de desempenho energético.

Os IDE estabelecidos para a determinação do desempenho energético da *Verallia* são apresentados nos diagramas da Figura 23 e 24. A hierarquia de níveis e o código de cores apresentados nesta secção são respeitados. O método de cálculo dos IDE relativos aos usos significativos de energia é detalhado na Tabela 22.

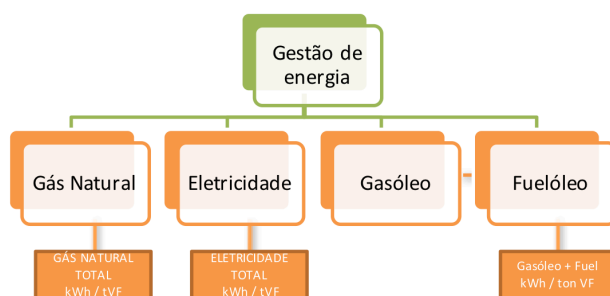


Figura 23 – Indicadores de desempenho energético de nível 2.

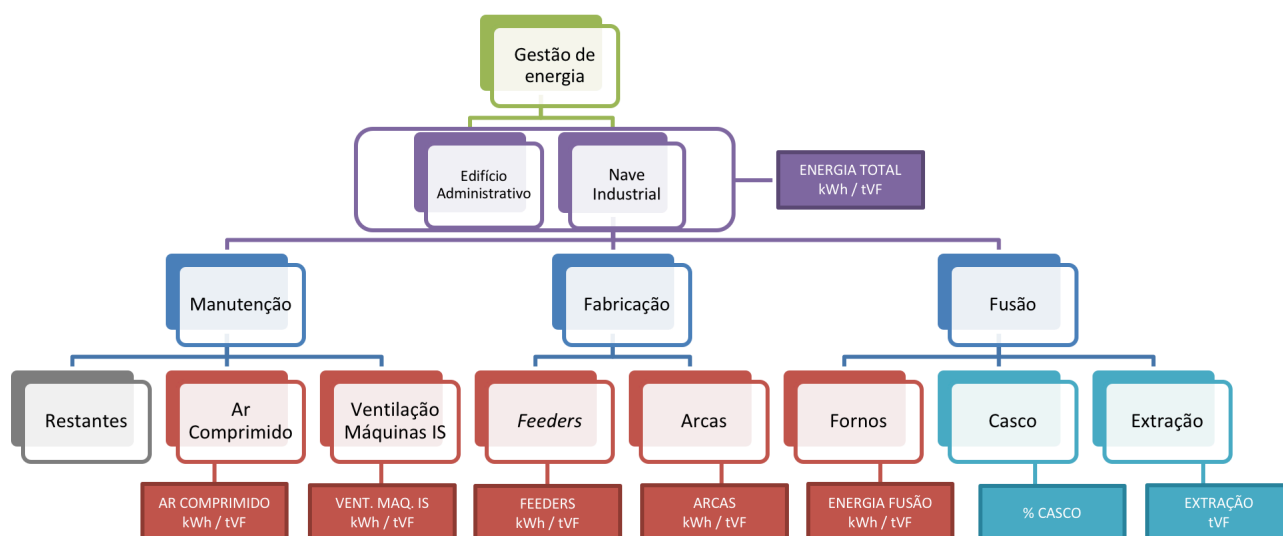


Figura 24 – Indicadores de desempenho energético de nível 1, 3, 4 e 5.

Tabela 22 – Determinação dos indicadores de desempenho energético de nível 5.

Uso Significativo de Energia	Desagregação		Determinação
Energia Fusão (Gás natural + Eléktrodo)	Forno 1	Forno 2	$\frac{\text{Consumo de Gás natural} + \text{Energia elétrica (kWh)}}{\text{Vidro Fundido (tVF)}}$
Canais + Feeders (Gás natural + Eléktrodo)	Forno 1	Forno 2	$\frac{\text{Consumo de Gás natural} + \text{Energia elétrica (kWh)}}{\text{Vidro Fundido (tVF)}}$
Ar Comprimido	-		$\frac{\text{Consumo de Energia elétrica (kWh)}}{\text{Vidro Fundido (tVF)}}$
Ventilação Máquinas IS	-		$\frac{\text{Consumo de Energia elétrica (kWh)}}{\text{Vidro Fundido (tVF)}}$
Arcas	Forno 1	Forno 2	$\frac{\text{Consumo de Energia elétrica (kWh)}}{\text{Vidro Fundido (tVF)}}$

O processo de determinação e seguimento de IDE, bem como a sua relação com outros requisitos do SGE é apresentado no diagrama da Figura 25.

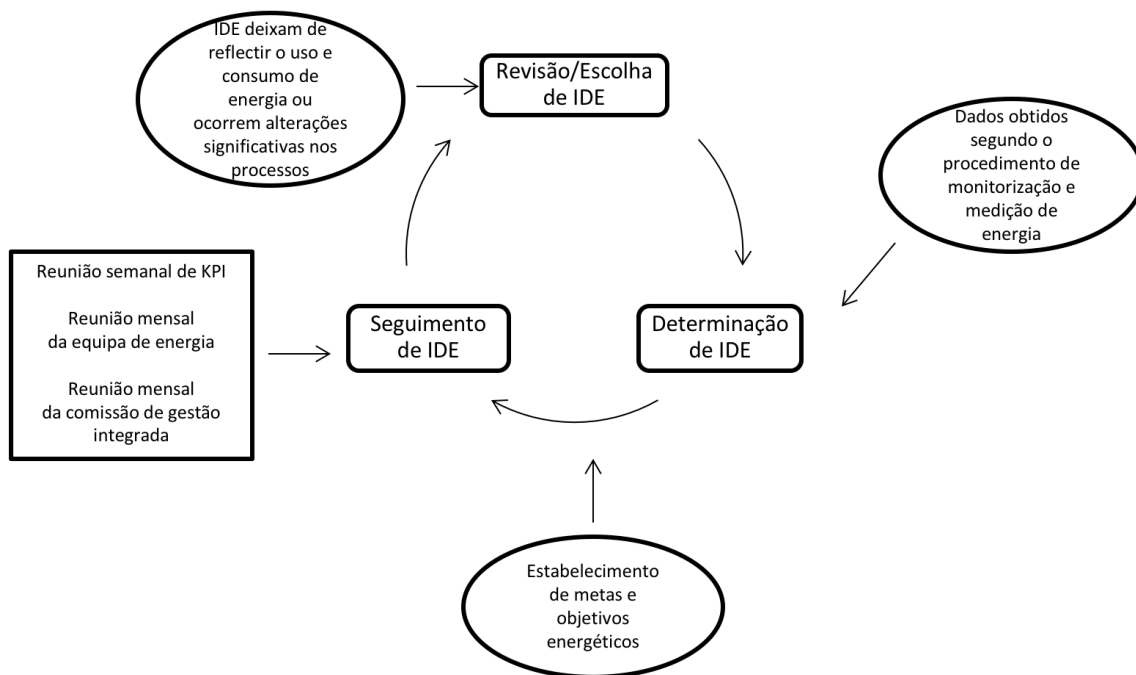


Figura 25 – Diagrama do processo de determinação e seguimento de IDE.

No departamento de fusão, que comporta o uso de energia mais significativo e grande parte do consumo global, é feito um seguimento diário de indicadores de energia, que se apresenta também na reunião diária da fabricação, juntamente com o comportamento das variáveis de maior relevância (percentagem de casco e extração), o que permite um acompanhamento constante.

#### 4.3.5. Objetivos, metas energéticas e planos de ação para a gestão de energia

O seguimento do planeamento energético dá-se através do estabelecimento de objetivos e metas energéticos definidos anualmente, e acompanhados mensalmente na Comissão de Gestão Integrada em articulação com a equipa de energia. Foram estabelecidos, em articulação com a equipa de energia e a direção fabril, objetivos para os IDE de nível 5, energia total e percentagem de casco (Tabela 23).

**Tabela 23 – Objetivos e metas de energia para 2016.**

Objetivo	Indicador de desempenho	Meta	Responsável	Acompanhamento
Redução de consumo de <b>energia de Fusão</b>	kWh/tVF	<b>1 135,1</b>	Chefe de Composição / Fusão	Quadro de KPI no departamento / Reunião diária da produção / Seguimento semanal de KPI / Quadro geral de KPI mensal
Aumento da <b>percentagem de casco</b> introduzida na composição	%	<b>68,8</b>	Chefe de Composição / Fusão	Quadro de KPI do departamento / Reunião diária de produção / Quadro de KPI mensal
Redução do consumo de energia de <b>feeders</b>	kWh/tVF	<b>162,6</b>	Chefe de Fabricação	Reunião de seguimento semanal de KPI / Quadro geral de KPI mensal
Redução do consumo de energia de <b>arcas</b>	kWh/tVF	<b>11,0</b>	Chefe de Fabricação	Reunião de seguimento semanal de KPI / Quadro geral de KPI mensal
Redução do consumo de <b>ar comprimido</b>	kWh/tVF	<b>76,8</b>	Chefe de Manutenção	Reunião de seguimento semanal de KPI / Quadro de KPI mensal no departamento / Quadro geral de KPI mensal
Redução do consumo da <b>ventilação (máquinas IS)</b>	kWh/tVF	<b>42,7</b>	Chefe de Manutenção	Reunião de seguimento semanal de KPI / Quadro de KPI mensal no departamento / Quadro geral de KPI mensal
Redução do consumo de <b>energia total</b>	kWh/tVF	<b>1 494,3</b>	Diretor Fabril	Quadro geral de KPI mensal

O estabelecimento de objetivos deu origem a planos de ação onde se definem as atividades a serem implementadas, o método de intervenção, os recursos necessários, os prazos para implementação, as responsabilidades e a forma de verificação de resultados. Segundo a Norma ISO 50001, a implementação de cada ação deve ser precedida de uma análise que permita a previsão da poupança que deverá ser atingida e sucedida por um seguimento, através de um indicador definido, e avaliação da sua eficácia. A Tabela 24 apresenta uma versão resumida dos planos de ação elaborados e análises correspondentes, desenvolvidos no âmbito deste estágio, para o ano de 2016.



Tabela 24 – Planos de ação para a energia em 2016.

Ações	Data de realização	Poupança esperada	Seguimento	Indicador de seguimento		Eficácia da ação
1) Reconstrução / reparação do material refratário do Forno 2.	jan/2016	Poupança prevista em auditoria energética: 15 % do consumo total de gás natural do Forno 2.	Comparação do consumo específico do forno, retirando a influência de casco e extração, para uma campanha da mesma cor, antes e após a intervenção.	poupança de energia no Forno 2 (%)	4,0	✓
2) Instalação de sonda de medição de O <sub>2</sub> , em contínuo no Forno 2.	abr/2016	Poupança prevista com obra do Forno 2 + sonda de O <sub>2</sub> : ≈ 7 % do consumo do Forno 2.	Comparação do consumo específico do forno, retirando a influência de casco e extração, para uma campanha da mesma cor, antes e após a intervenção.	poupança de energia no Forno 2 (%)	3,8	✓
3) Reconstrução do material refratário dos <i>feeders</i> do Forno 2.	jan/2016	Poupança prevista em auditoria energética: 5 % do consumo de gás natural dos <i>feeders</i> do Forno 2.	Nova termografia e análise de seguimento pelo CTCV em curso.	poupança de energia <i>feeders</i> do Forno 2 (%)		
4) Isolamento adicional dos <i>feeders</i> 11 e 12.	jan/2016	Poupança prevista: < 5 % do consumo de gás natural dos <i>feeders</i> do Forno 1.	Nova termografia e análise de seguimento pelo CTCV em curso.	poupança de energia <i>feeders</i> do Forno 1 (%)		
5) Substituição gradual de iluminação geral da fábrica.	2015-2018	Poupança prevista em auditoria energética ≈ 23 % do consumo de iluminação + tomadas.	Avaliação da poupança conseguida através da comparação do consumo antes e após a implementação da medida.	poupança consumo iluminação (%)		

À altura do final do estágio na *Verallia*, as medidas de 1 a 4 haviam sido implementadas (Figura 26 e 27). Realizou-se o seguimento para as medidas 1 e 2, como previsto.

Utilizando os valores reais de energia específica de fusão para a última campanha de canela antes da obra do forno e os valores da primeira campanha de vidro de cor canela após a obra do forno, e retirando a influência da extração e do casco, a partir da equação de consumo energético teórico do Forno 2, chegou-se a um valor de energia para cada um dos períodos que, por comparação, sugere uma poupança de energia de cerca de 4 % após a obra do forno. Assume-se que a poupança prevista em auditoria foi bastante sobrestimada.

O mesmo método de verificação foi utilizado para averiguar a poupança de energia conseguida com a instalação de sonda de medição em contínuo de O<sub>2</sub> no Forno 2, que se concluiu ser de 3,8 %. A poupança esperada para a implementação do conjunto das duas medidas (prevista internamente através de análise dos valores relativos à implementação das mesmas medidas no Forno 1 em 2014, ver 4.7.1) de cerca de 7 % foi confirmada.

As melhorias conseguidas com as medidas 3 e 4 devem ser averiguadas através da realização de uma nova análise termográfica aos *feeders*, para comparação com a realizada na auditoria energética, anterior à obra.

Em relação à medida 5, decidiu-se que a sua implementação devia ser faseada, consoante as necessidades de substituição das lâmpadas existentes; deve avaliar-se a poupança conseguida no final do seu período de implementação.



Figura 26 – Fotografia do interior do Forno 2 durante a obra.



Figura 27 – Fotografia das sondas de  $O_2$  instaladas nas câmaras regeneradoras do Forno 2.

#### **4.4. Implementação e operação**

##### **4.4.1. Competências, formação e sensibilização**

No âmbito do SGI, através do levantamento das necessidades de formação associadas ao funcionamento do sistema de gestão e aplicação da política integrada, prevê-se a realização ações de formação ou sensibilização para responder a essas necessidades, estabelecendo um plano anual de formação. Este requisito do SGE foi cumprido através da sua integração no plano estabelecido.

A *Verallia* aproveita as ações de formação internas com todos os colaboradores como forma de possibilitar a sua participação no processo de melhoria contínua do desempenho energético. Para além disso, as caixas de sugestões disponíveis na instalação permitem a participação de todos os colaboradores.

##### **4.4.2. Comunicação**

A Norma ISO 50001 prevê a necessidade de estabelecer e implementar um processo de comunicação interna que garanta que todos os colaboradores da empresa possam apresentar comentários ou sugestões de melhoria do SGE e do desempenho energético.

A comunicação interna realizada na *Verallia* permite informar sobre a evolução e o progresso do SGI e outros assuntos de interesse, de forma a constituir um diálogo aberto e transparente com o envolvimento de todos os colaboradores, e, ao mesmo tempo, potenciar a sua motivação para o sucesso da organização. Através de reuniões diárias e trimestrais de informação geral, sensibiliza-se os colaboradores para os requisitos do SGI, incluindo agora os do SGE.

A comunicação externa do SGE foi incluída no plano de comunicação externa relacionada com os outros sistemas de gestão existentes, sendo realizada através de distribuição às partes interessadas da Declaração Ambiental, normas de conduta interna para fornecedores e visitas, ações de formação aos colaboradores e jornadas internas, auditorias internas e externas, site *Verallia*, *newsletter*, etc.

##### **4.4.3. Documentação**

Alguns requisitos da Norma ISO 50001 foram refletidos em procedimentos documentados para suportar o SGE na melhoria efetiva do desempenho energético da *Verallia*.

A documentação do SGE inclui, entre outros:

- âmbito de aplicação e fronteiras do SGE;
- política energética;
- planeamento energético;
- metodologia e critérios para a avaliação energética;
- objetivos e metas energéticas;
- planos de ação para a gestão de energia;
- requisitos na aquisição de bens e serviços;
- plano de medição de energia;
- plano de auditorias internas.

A informação exigida pela Norma ISO 50001 é essencialmente de duas tipologias:

- documentos: informação que comunica o que vai ser feito e como vai ser feito;
- registos: informação que fornece os resultados atingidos ou evidências das atividades desenvolvidas.

A implementação deste requisito foi realizada através da atualização de documentos e registos existentes e da elaboração de novos documentos e registos específicos do SGE. Assim, a documentação do SGE foi integrada na documentação existente do SGI, que se mantém estruturado da seguinte forma:

- a) Nível I:
  - Manual de Gestão Integrado – base do SGI, referindo com clareza a sua política, orientações, responsabilidades, compromissos e recursos, de forma a garantir o cumprimento dos requisitos das normas;
- b) Nível II:
  - Procedimentos Gerais – descrevem as atividades, responsabilidades e controlos necessários para operacionalizar os processos indicados;
- c) Nível III:
  - Procedimentos operativos – subjacentes aos procedimentos gerais, detalham o processo de trabalho e indicam como, quando, onde e por quem uma tarefa deverá ser executada, assim como o que deverá ficar registado;
  - Planos de inspeção e ensaio – documentos de saída do planeamento de um sistema (ex: plano de calibração, plano de monitorização e medição, plano de formação, etc.);
- d) Nível IV:
  - Registos – documentos onde ficam registados os valores e informações que permitem evidenciar objetivamente que os requisitos e objetivos do sistema foram cumpridos e que os diversos elementos foram efetivamente implementados;
  - Impressos – documentos onde se registam as informações exigidas nos procedimentos e normas demonstrando que o seu conteúdo foi concretizado (podem existir noutros formatos, em vez de em papel).

Os documentos essenciais, elaborados e atualizados de modo a constituírem a documentação necessária para o SGE, estão enumerados no Anexo A (os assinalados a cinzento foram desenvolvidos de raiz para o SGE no âmbito deste estágio, os restantes são documentos já existentes que foram revistos e atualizados para conterem as últimas alterações relacionadas e integrarem o SGE).

#### **4.4.4. Controlo operacional**

O controlo operacional, na perspetiva de um SGE, visa assegurar que os equipamentos, sistemas, processos e instalações são operados e mantidos de forma a atingir o desempenho energético pretendido. Os controlos operacionais incluem procedimentos e instruções de trabalho, controlos físicos ou recurso a pessoal qualificado para certas operações.

Fez-se um levantamento dos procedimentos operacionais de exploração e boas práticas relacionadas com a gestão dos consumos energéticos, cujo resultado está compilado no Anexo B, com descrição das práticas estabelecidas para cada uso significativo de energia.

Na definição das especificações dos critérios operacionais e de manutenção (procedimentos escritos), são estabelecidos e definidos:

- usos significativos de energia e equipamentos associados;
- critérios para uma efetiva operação;
- *set point* operacional;
- critérios para uma efetiva manutenção;
- intervalo de manutenção necessário;
- pessoas a informar quanto aos critérios operacionais e de manutenção.

Para a elaboração e atualização da descrição de controlos operacionais, acompanhou-se a realização das atividades operacionais, recolheram-se as informações necessárias e identificaram-se necessidades de melhoria e atualização. Os procedimentos escritos relacionados com o controlo operacional relevantes para o funcionamento do SGE estão enumerados no anexo A; especificamente para a implementação SGE foram elaborados, durante o estágio, procedimentos novos para o controlo operacional relacionado com o ar comprimido e a ventilação de máquinas IS.

#### **4.4.5. Conceção**

Este requisito foi cumprido através da sua integração no SGI, de acordo com o que é feito neste sentido para as outras normas já implementadas. Com a implementação do SGE, são tidas em consideração as oportunidades de melhoria do desempenho energético, aquando da conceção, modificação ou renovação de instalações, equipamentos, sistemas e processos.

#### **4.4.6. Aprovisionamento de energia, seus serviços, produtos e equipamentos**

Uma vez assegurada a consciencialização do pessoal relevante sobre os aspetos relacionados com o SGE, passa a ser sua responsabilidade assegurar a aquisição de energia, serviços, produtos e equipamentos que vão ao encontro das necessidades e objetivos do SGE.

Aquando do aprovisionamento de serviços de energia, produtos e equipamentos que têm, ou podem ter, um impacto significativo no uso de energia, informa-se os fornecedores que a sua contratação é parcialmente avaliada com base no desempenho energético.

### **4.5. Verificação**

#### **4.5.1. Monitorização, medição e análise**

Foi necessário elaborar um procedimento para definir e documentar as atividades de monitorização e medição. Para isso acompanharam-se as atividades de monitorização e medição, tendo-se recolhido a informação resumida na Tabela 25.

**Tabela 25 – Plano de medição dos consumos de energia na Verallia.**

Dados	Fonte	Localização	Aquisição	Registo	Frequência	Responsabilidade
Consumo de gás natural (fuelóleo) dos fornos	software de controlo de operação dos fornos	em cada forno	gerada por computador	folha de controlo de operação de cada forno	a cada hora	Fusão
Outros consumos de gás natural	contador de volume de gás	cada consumidor de gás natural da instalação	leitura manual	folha de registo de leituras manuais	todas as segundas-feiras e primeiro dia de cada mês	Manutenção
Consumo de energia elétrica geral	sistema de supervisão energética <i>CIRCUTOR</i>	maioria dos consumidores de energia elétrica da instalação	gerada por computador	relatório gerado por computador	instantânea	Manutenção
Consumo de gasóleo geral	requisições para utilização e faturas do fornecedor	—	levantamento de dados das fontes	balanço de armazém	mensal	Aprovisionamentos

Os dados obtidos desta forma são armazenados, compilados e tratados, e são a base para a atualização da avaliação energética da Verallia.

A Galp Energia, fornecedor de gás natural, tem nas instalações da Verallia dois equipamentos de medição calibrados e certificados, um para a medição do consumo dos dois fornos e outro para os consumos nas linhas de produção (canais, *feeders*, arcas e outros). Para além dos contadores de gás natural do fornecedor de energia, por cada consumidor de gás natural existe um contador da Verallia. Os consumos de gás natural dos fornos 1 e 2 são monitorizados através do *software* de controlo de operação dos fornos, mas os equipamentos de medição do sistema não se encontravam calibrados. Os outros contadores de gás da Verallia, de leitura por observação também não se encontravam calibrados.

Durante o levantamento dos contadores de gás natural (Anexo C) e das necessidades de substituição e calibração, percebeu-se que haveria alguns contadores possivelmente mal dimensionados relativamente aos consumos de energia do equipamento correspondente, o que poderia ser a causa de algumas avarias que se verificaram. Deixou-se indicações dos casos de maior dúvida, e a recomendação da realização de um estudo mais aprofundado por empresa externa que permita averiguar a adequação dos contadores colocados em relação a possíveis picos do consumo a medir.

Os consumos de energia elétrica são medidos e monitorizados em tempo real através de equipamentos de medição e sistemas da *CIRCUTOR*, associados ao *software* energético *PowerStudio SCADA*. O levantamento destes dados é conseguido através dos relatórios que o programa fornece a pedido. Os consumos que foram introduzidos neste sistema até à data

correspondem a mais de 80 % do total do consumo de energia elétrica. Os consumos de energia elétrica que ainda não foram integrados não são monitorizados individualmente.

Os equipamentos de medição de energia elétrica da instalação não se encontravam calibrados, à exceção do equipamento colocado na subestação que monitoriza o consumo total da instalação. O equipamento da empresa fornecedora de energia elétrica instalado na *Verallia* possui certificado de calibração, como é legalmente requerido.

A verificação dos resultados das medições realizava-se com base nas faturas energéticas mensais dos fornecedores de energia, permitindo detetar anomalias nas medições realizadas internamente ou na faturação apenas se estas provocassem uma grande discrepância entre os valores. Segundo a interpretação geral da Norma ISO 50001, este tipo de verificação não é suficiente, como também não é suficiente a calibração dos equipamentos que medem o consumo total de determinado tipo de energia; deve-se caminhar de forma a que todos os consumos sejam medidos individualmente, e que os resultados das medições sejam fiáveis.

Para garantir que os equipamentos utilizados fornecem dados de qualidade e repetíveis, foi necessário definir um plano de calibração para assegurar a adequada manutenção dos equipamentos de medição (Anexos D e E).

Os equipamentos de medição de gás natural foram calibrados e analisou-se os seus certificados de calibração definindo um critério de aceitação (Equação 4), em articulação com a equipa de energia, que estabelece a tolerância máxima admissível para estes equipamentos (2,5 %):

$$E_T = |E| + |U| \leq 2,5 \% \quad (4)$$

em que  $E_T$  = Erro total,  $E$  = Erro padrão e  $U$  = Incerteza declarada.

Se um equipamento for considerado não-conforme com o critério de aceitação, deve proceder-se à avaliação da validade dos resultados de medições anteriores e empreender-se ações apropriadas relativamente ao equipamento, provavelmente a sua substituição. Nesta primeira fase, todos os resultados de calibração foram aceites, apenas com algumas restrições a determinadas gamas de utilização.

Os equipamentos de medição de energia elétrica relativos ao consumo dos usos significativos de energia foram sujeitos a uma verificação por empresa externa, por comparação da sua leitura com a de um analisador de energia calibrado e certificado. Os resultados desta verificação não estiveram disponíveis para serem analisados durante o período de estágio.

Os contadores de gás da instalação, bem como os equipamentos de medição e monitorização de energia elétrica afetos aos usos significativos de energia, devem ser verificados/calibrados a cada 5 anos. Aquando da colocação em funcionamento de um novo equipamento de medição de energia elétrica, deve certificar-se que a medição está a ser realizada corretamente, procedendo à sua verificação com o analisador de energia certificado da *Verallia*.

Em relação ao *software* de supervisão energética, pretendia-se desenvolver o *software* de forma a ajustá-lo às reais necessidades, em termos do processamento e disponibilização de informação

sucinta que fosse útil para uma gestão eficiente dos usos e consumos de energia. Foram desenvolvidos relatórios com informação de custos, relatório mensal de seguimento de objetivos (Anexo F) e relatório de indicadores de desempenho energético (com necessidade de introdução de dados de extração).

#### **4.5.2. Avaliação da conformidade com exigências legais e outros requisitos**

A *Verallia* identifica os requisitos legais associados aos aspetos resultantes das suas atividades, incluindo os relacionados com o consumo energia, e procede a avaliações periódicas desses mesmos requisitos. A verificação do cumprimento dos requisitos legais, e outros aplicáveis no âmbito do SGE da *Verallia*, é assegurada através de avaliações de conformidade e auditorias de diversas partes, planeadas no âmbito do SGI.

#### **4.5.3. Auditoria interna ao sistema de gestão de energia**

A auditoria interna ao SGE foi realizada por pessoas externas à *Verallia* devidamente competentes, como aliás é prática comum nas auditorias internas a outros sistemas de gestão (qualidade, ambiente e/ou segurança e saúde no trabalho). A melhor solução encontrada para a integração deste requisito no SGI foi a realização das futuras auditorias internas ao SGE em simultâneo com auditorias internas já planeadas para outras normas; contudo, sublinha-se que devem ser claramente definidos os objetivos e âmbito de cada auditoria interna.

#### **4.5.4. Não conformidades, ações corretivas e ações preventivas**

Na sequência das conclusões das auditorias internas são acionadas as ações preventivas e/ou corretivas consideradas adequadas, devendo o responsável pelo SGI lidar com as não-conformidades. As não conformidades e ações resultantes da auditoria interna realizada ao SGE aquando da sua implementação estão descritas na tabela do Anexo G. Todas as ações corretivas foram implementadas antes da auditoria de concessão da certificação.

#### **4.5.5. Controlo dos registos**

Os controlos adequados para a identificação, recuperação e conservação dos registos foram definidos e implementados para o SGI. O controlo dos registos do SGE, uma vez integrado no SGI, obedece aos critérios já estabelecidos.

### **4.6. Revisão pela gestão**

O SGE da *Verallia* é revisto pela gestão com a verificação da conformidade dos objetivos e metas através do acompanhamento do programa de gestão integrado, nas reuniões mensais da Comissão de Gestão Integrada.



## **4.7. Outros contributos**

### **4.7.1. Determinação do ponto ótimo de incorporação de casco na composição**

Geralmente, conforme no Capítulo 3, o uso de casco resulta em poupanças significativas nos custos de produção através da redução significativa do consumo de energia do processo. No entanto, o preço do casco externo tem vindo a aumentar significativamente, conforme a sua disponibilidade diminui em consequência do aumento da procura; por isso, a sua utilização pode não ser sempre economicamente viável.

Com esta análise pretendia-se determinar se existe um valor ideal de percentagem de casco que deve ser incorporado na composição de forma a conseguir o menor custo possível de composição/fusão do vidro. Para isso obteve-se a informação possível sobre os custos de casco e de matérias-primas, de modo a obter o custo da composição para determinada percentagem de incorporação de casco, e realizou-se a análise para três campanhas de vidro âmbar e duas de vidro branco no Forno 1 em 2015, para as quais se determinou a extração e a energia elétrica de reforço médio requerida.

Através da equação de consumo energético teórica do Forno 1, e dos dados médios reais, determinou-se a quantidade de gás natural necessária em função do valor de percentagem de casco incorporado. O custo de gás natural para essas condições de fusão foi somado com o custo da composição (matérias-primas e casco), dando um custo total para a produção de vidro fundido, exceto o reforço elétrico que se considerou constante.

No geral, o resultado indica, como era de esperar, que quanto maior o nível de incorporação de casco menor é o custo total de fusão.

Por limitações no acesso aos valores de custos da composição, não foi possível aprofundar o estudo. Isto porque o interesse dos responsáveis pelo seguimento desta análise não se fez sentir e, no geral, os intervenientes concordam que o custo de fusão é inversamente proporcional à percentagem de incorporação de casco. Além disso, os custos e o *mix* da composição sofrem alterações frequentes, pelo que este tipo de análise não tem grande valor, a não ser que seja refeita a cada alteração (otimização dinâmica da composição em função do custo do casco).

### **4.7.2. Determinação da influência da sonda de O<sub>2</sub> no consumo de energia do forno**

A sonda de zircónio, utilizada para controlo eficiente do ar de combustão fornecido para a fusão, funciona através da identificação da presença de oxigénio nos gases de exaustão, desencadeando uma resposta do sistema de controlo que faz variar a relação ar/combustível de forma a trazer o excesso de oxigénio para o valor pretendido.

O objetivo desta análise foi estimar a influência do controlo automático do ar de combustão no consumo energético do Forno 1, através da equação de consumo energético teórico do forno e dos dados diários reais de extração, percentagem de casco e consumo de energia elétrica e gás natural, para campanhas anteriores e posteriores à colocação da sonda de O<sub>2</sub>.

Conhecendo a equação de consumo energético do forno, foi possível retirar a influência da taxa de extração e da taxa de incorporação de casco, determinando um valor de energia de fusão normalizado que pode ser comparado de modo a identificar a influência de um outro fator relevante, neste caso o controlo do ar de combustão.

A Tabela 26 mostra os resultados desta análise, feita para valores médios de energia normalizados para três campanhas de vidro âmbar e duas de vidro branco, realizadas antes da introdução da sonda de O<sub>2</sub> no Forno 1, em fevereiro de 2014, e para o mesmo número de campanhas de cada cor realizadas posteriormente. No Anexo H apresenta-se, para exemplificar, a análise realizada para as campanhas de vidro branco.

**Tabela 26 – Poupança de energia no Forno 1 devido à utilização da sonda de O<sub>2</sub>.**

Campanhas de cor	Consumo energético específico médio normalizado (kWh/tVF)		Poupança de energia (%)
	jan 2013 - fev 2014	mar 2014 - fev 2015	
âmbar	1105,16	1024,40	7,3 %
branco	966,38	898,62	7,0 %

Como a colocação da sonda foi realizada durante a obra de reconstrução do Forno 1, não se conseguiu chegar a um valor de poupança associado apenas à utilização da sonda, mas sim ao conjunto de medidas: reconstrução do forno e introdução da sonda de O<sub>2</sub>.

O valor de poupança atingido com estas técnicas, determinado da forma descrita, serviu de base para estimar o potencial de poupança da implementação das mesmas medidas no Forno 2 (reconstrução do forno e introdução da sonda de O<sub>2</sub>), em 2016, como descrito no ponto 4.3.5.

#### **4.7.3. Avaliação de oportunidades de melhoria do desempenho energético dos compressores**

O sistema de ar comprimido da *Verallia* é responsável por cerca de 30% do consumo de energia elétrica, sendo o maior consumidor deste vetor energético da instalação. A *Verallia* possui um parque de compressores de alta pressão (7 bar), que alimenta essencialmente equipamentos da zona de vidro frio, e de baixa pressão (3,5 bar), que alimenta as máquinas IS. O maior consumo de ar comprimido dá-se no processo de conformação, ou seja, no parque de compressores de 3,5 bar (Tabela 27 e Figura 28).

**Tabela 27 – Parque de compressores de 3,5 bar da *Verallia*.**

Modelo	Potência (kW)	Tensão (V)
C42	250	400
C60/3	325	400
C21/1C	350	400
C60/2	350	400
C70/2	400	400
C100	480	3300
ZH10000	630	3300
C155/1	660	3300
C950	700	3300



**Figura 28 – Fotografia do parque de compressores de 3,5 bar.**

O consumo de energia dos compressores é controlado de perto, mas tem-se verificado uma dificuldade em atingir objetivos de redução contínua. Desta forma, começa a haver uma preocupação mais acentuada com a melhoria da eficiência energética do sistema de ar comprimido.

Neste sentido, fez-se um levantamento da informação existente relativa ao estado do parque de compressores de 3,5 bar, custos de operação e manutenção dos equipamentos e das propostas de substituição de equipamentos por empresas externas. A informação recolhida sobre cada um dos compressores permitiu uma avaliação das prioridades de intervenção, segundo os critérios da Tabela 28, que deu origem à priorização na Tabela 29.

**Tabela 28 – Critérios para a priorização da intervenção no parque de compressores.**

Prioridade de intervenção		
Prioridade 1	> 15	
Prioridade 2	11 - 15	
Prioridade 3	5 - 10	
Critérios de avaliação		
Mais recente	1-5	Mais antigo
Mais eficiente	1-5	Menos eficiente
Menos horas	1-5	Mais horas
Menores custos	1-5	Maiores custos

Para averiguar a melhor solução de intervenção no sistema de ar comprimido, havia que conhecer o caudal real consumido, mas como a medição de caudal de ar comprimido à saída é feita de forma efetiva apenas para um dos compressores do parque de 3,5 bar, tal não foi possível.

A estratégia encontrada para determinar o caudal médio total consumido na instalação passou por afetar o caudal máximo teórico da percentagem de admissão dos compressores em funcionamento. A análise realizada, para dados de um período de 4 meses, entre junho e outubro de 2015, pode ser consultada no Anexo I. Chegou-se a um valor de cerca de 380 m<sup>3</sup>/min, que se confirmou após uma medição elaborada pela empresa *Atlas Copco*.

Tabela 29 – Prioridades de intervenção no parque de compressores de 3,5 bar.

Modelo	Ano	Eficiência	Horas de serviço	Manutenções	Revisão / Reparação	TOTAL
C155/1	3	4	5	4	5	21
C21/1C	5	3	2	3	5	18
C70/2	4	5	2	1	5	17
C950	1	2	2	4	5	14
ZH10000	1	3	3	5	1	13
C100	2	2	3	2	4	13
C60/2	2	3	2	1	2	10
C60/3	3	2	1	1	2	9
C42	2	1	1	1	1	6

O consumo de ar comprimido da instalação é geralmente garantido por três compressores principais (ZH10000 + C155/1 + C950) de maior potência, e por um quarto compressor (C100) que se encontrava temporariamente avariado.

Analisaram-se duas propostas de intervenção antigas, das empresas *Atlas Copco* e *Comingersoll*, para substituição de dois dos compressores de maior potência por máquinas mais recentes e energeticamente mais eficientes. Ambas as propostas, embora com estratégias ligeiramente diferentes, apresentaram poupanças de mais de 100 000 € em relação à situação atual.

No seguimento de uma proposta apresentada em 2015 pela *Comingersoll*, fez-se um acompanhamento que pode ser consultado nos Anexos J. Com essa análise concluiu-se que:

- Com a substituição dos compressores C100 e C155-1 por duas máquinas mais eficientes pode-se conseguir uma poupança de 145 000 €/ano, e pagar o investimento em pouco mais de 3 anos;
- Substituindo também o compressor ZH10000 ou o compressor C950, e ficando com três equipamentos novos, pode-se conseguir poupanças anuais de até 170 000 €/ano, e esta intervenção tem um *payback* de cerca de 4 anos.

Se for possível cobrir a diferença de investimento (preço de mais um compressor), a melhor opção será substituir os 3 equipamentos. Não sendo possível realizar investimentos dessa dimensão, analisou-se a possibilidade de reparar apenas o compressor avariado. Este compressor apoia o sistema em caso de necessidade de paragem de um dos outros compressores de maior potência e, estando este avariado, torna-se necessário colocar em funcionamento vários compressores de menor potência para assegurar o abastecimento de ar ao processo nesta situação. Desta forma, se não é possível adquirir compressores novos de momento, a reparação deste equipamento é urgente.

A reparação do compressor C100 pode passar por desmontagem e reparação dos componentes (*overhaul*), ou por aquisição de um novo *airend*. A comparação das duas opções, propostas pelo fornecedor, está espelhada na Tabela 30. Optar por adquirir um novo *airend* apresenta-se como a melhor solução, sendo que permite uma poupança anual de mais de 30 000 € em termos de custos de energia do que o *overhaul* ao equipamento existente, o que cobre a diferença de

investimento. Além disso, esta opção permite a obtenção de um caudal de ar maior nesta máquina.

**Tabela 30 – Comparação de opções de reparação do compressor C100.**

<b>Reparação C100</b>	<b>Overhaul</b>	<b>Novo Airend</b>
Custo	115 708,6 €	122 655,1 €
Caudal máximo FAD <sup>(1)</sup> (m <sup>3</sup> /min)	109,2	114,1
Potência ao veio @ caudal máximo (kW)	466,3	432,3
Caudal médio FAD <sup>(1)</sup> (m <sup>3</sup> /min)	100	100
Potência ao veio @ caudal médio (kW)	427	379
Funcionamento (horas/ano)	8760	8760
Preço da energia elétrica (€/kWh)	0,075 €	0,075 €
Custo total de energia elétrica (€/ano)	280 509,3 €	248 999,9 €

(1) FAD - Débito de ar livre - é a medida standard da capacidade de um compressor, dá-nos o volume de ar à saída do compressor nas condições de pressão e temperatura do ar à entrada do compressor.

A substituição de compressores é uma medida que exige um investimento considerável, e que não se encontrava prevista para breve no plano industrial a 5 anos da *Verallia*. As propostas e análises realizadas devem ser reavaliadas futuramente, quando houver autorização e alocação de fundos para a melhoria da eficiência energética do parque de compressores da *Verallia*.



## 5. Conclusões

### 5.1. Discussão de resultados e conclusões

A gestão sistemática dos consumos energia é fundamental para as organizações consumidoras intensivas de energia, trazendo vantagens como o aumento da eficiência energética e a diminuição de emissões de gases com efeito de estufa. A implementação de um sistema de gestão de energia é de grande importância para a *Verallia*, dado a elevada contribuição da energia para os custos de produção do vidro de embalagem.

Aquando da implementação de sistemas de gestão de energia, a Norma ISO 50001 fornece uma boa estrutura para os aspetos organizacionais. No entanto, para aspetos mais técnicos, não fornece uma abordagem detalhada para a melhoria contínua da eficiência energética, dado que o seu objetivo é proporcionar uma estrutura geral abrangente que pode ser aplicada a vários sectores e a organizações de várias dimensões.

A *Verallia* encontrava-se inicialmente numa situação de implementação avançada em relação aos requisitos da Norma ISO 50001, sendo que grande parte dos requisitos se avaliaram à partida como parcialmente desenvolvidos.

Relativamente à implementação das Melhores Técnicas Disponíveis, conclui-se que a *Verallia* está na linha da frente da implementação das medidas de eficiência energética no processo de fusão recomendadas para esta atividade. Considera-se que a abordagem conseguida com as técnicas aplicadas nos fornos de fusão permite a obtenção de um elevado grau de eficiência energética combinado com uma alta performance do processo.

No âmbito deste estágio, levou-se a cabo a implementação do sistema de gestão de energia da *Verallia*, segundo o referencial da Norma ISO 50001, que permitiu a completa integração da eficiência energética na sua estratégia global, na sua organização estrutural e nas suas operações diárias.

Com a implementação do sistema de gestão de energia, a *Verallia*:

- Assegurou o compromisso da gestão de topo para com a gestão de energia, que providenciou os recursos necessários e estabeleceu uma política energética adequada, com vista à melhoria contínua do seu desempenho energético e ao cumprimento das exigências aplicáveis;
- Tem um gestor de energia e uma equipa de energia identificados, com responsabilidades e autoridades definidos;
- Conduziu um planeamento energético, através da realização de uma avaliação energética, determinação de consumos energéticos de referência e indicadores de desempenho energético e estabelecimento de objetivos, metas energéticas e planos de ação para a gestão de energia;
- Definiu quais os seus usos significativos de energia, oportunidades de melhoria do desempenho energético e prioridades de intervenção;

- Estabeleceu e implementou critérios de operação e manutenção para os usos significativos de energia, de forma a controlar e minimizar o seu consumo de energia;
- Tomou as ações adequadas para a correta utilização dos equipamentos de medição e monitorização de energia, através da sua calibração ou verificação;
- Comunicou interna e externamente, e documentou adequadamente, os requisitos essenciais do sistema de gestão de energia;
- Considera o desempenho energético na conceção de instalações ou aquisição de equipamentos e na avaliação de fornecedores.

Do levantamento energético realizado é possível tirar algumas conclusões gerais sobre o consumo de energia na *Verallia*:

- O sector da fusão é o maior consumidor de energia, com um consumo (gás natural e energia elétrica) correspondente a mais 75 % do consumo total de energia;
- O tipo de energia mais consumida é o gás natural (sobretudo em fornos e canais de distribuição), que corresponde a mais de 80 % da energia consumida;
- A produção de ar comprimido é o maior consumidor de energia elétrica, com mais de 30 % do consumo global deste vetor energético;
- O maior potencial de poupança de energia encontra-se nos fornos, canais de distribuição e compressores, considerados como os usos de energia mais significativos.

Considera-se que a *Verallia* possui um sistema de gestão energia otimizado, que as principais medidas de redução do consumo de energia previstas já foram implementadas e os maiores potenciais de melhoria alcançados.

Em maio de 2016 conseguiu-se a certificação, de acordo a Norma ISO 50001, do sistema de gestão de energia da *Verallia*, que veio confirmar o sucesso da sua conceção e implementação e, consequentemente, o cumprimento dos objetivos estabelecidos para este estágio.

## 5.2. Limitações

Durante a fase de implementação do sistema de gestão de energia de acordo com Norma ISO 50001 foram encontradas algumas dificuldades e limitações, sendo estas devidas a pontos fracos do referencial ou a questões relativas à *Verallia*, que se descrevem em seguida.

- A Norma ISO 50001 descreve a meta final, mas não permite às empresas o entendimento claro de qual a sua posição no caminho para a atingir. Mesmo que uma empresa mostre grande preocupação com a melhoria contínua do desempenho energético, pode não estar de acordo com a Norma ISO 50001, e é forçada a cumprir cada um dos requisitos necessários para atingir a certificação, numa abordagem de tudo ou nada. Isto levou a que, inicialmente, se considerasse que a certificação poderia ser obtida facilmente e num curto período de tempo, quando na realidade foi necessário despendar mais tempo e recursos para implementar um sistema de gestão de energia funcional que cumprisse todos os requisitos da Norma ISO 50001.



- As orientações contidas no texto da Norma ISO 50001 podem suscitar várias interpretações, o que levou a alguma discussão interna positiva relativamente a determinados requisitos e a diferenças de opinião, nomeadamente no que diz respeito à definição dos critérios para a avaliação da significância dos usos de energia, entre outros.
- Sentiu-se alguma dificuldade em encontrar consensos internamente quanto à necessidade de implementar determinados requisitos, sobretudo relativamente à calibração e verificação de equipamentos de monitorização e medição de energia.
- Algumas medidas poderiam ter sido aplicadas para melhorar o próprio sistema de gestão de energia, mas como estas implicavam investimentos que não estavam dentro do plano anual já aprovado (como a aquisição de novos equipamentos de medição ou estruturas de informação e comunicação adicionais), acabou por ser adiada a sua implementação.
- Verificou-se a impossibilidade de concentrar toda a informação necessária no sistema de monitorização remota e supervisão de consumos energéticos instalado (*CIRCUTOR*). Não sendo possível colocar o sistema a recolher a informação diária do valor da extração de vidro, este não possui todos os dados necessários para ser a base do seguimento do desempenho energético, dado que não consegue calcular consumos específicos de energia. Desta forma, a determinação e seguimento de indicadores tem de ser realizada fora do sistema.
- O sistema de monitorização remota encontra-se funcional apenas para consumos de energia elétrica. Para continuar o desenvolvimento do sistema, de forma a integrar a totalidade da gestão de energia, seria necessária a instalação do *hardware* em falta, para completar a recolha de dados sobre a evolução dos consumos de energia (equipamentos de medição de consumos de gás natural e de consumos elétricos, para além dos existentes) ou outras variáveis relevantes (por exemplo, caudalímetros para medir os consumos de ar comprimido na fabricação).

### 5.3. Perspetivas de trabalhos futuros

Em relação ao sistema de gestão de energia implementado vale a pena destacar que o planeamento energético na sua totalidade (incluindo avaliação energética, consumo energético de referência, indicadores de desempenho energético, objetivos, metas e planos de ação) deve ser atualizado pelo menos anualmente, mas também sempre que haja mudanças nas instalações, equipamentos ou processos que configurem alterações significativas no desempenho energético.

Durante o estágio, identificaram-se alguns trabalhos relevantes a realizar futuramente na *Verallia*, com vista à progressão do sistema de gestão de energia e à melhoria contínua do desempenho energético. Em seguida, enumeram-se algumas ideias e recomendações nesse âmbito.

- É importante proceder à continuação da implementação de um sistema global de supervisão energética, integrando a informação contida atualmente no *CIRCUTOR* com a informação sobre variáveis relevantes e consumo de outros recursos - Só assim será possível ter um sistema completo, que permita ao gestor de energia e aos outros colaboradores a visualização, em tempo real, do comportamento energético da

instalação. Para isso recomenda-se a colocação de mais equipamentos de medição em comunicação com o *CIRCUTOR* (caudalímetros nos compressores, equipamentos de medição de energia elétrica e gás natural em falta) para a integração de todos os consumos no sistema.

- Caso não se proceda para já à integração dos consumos de gás natural da instalação no *CIRCUTOR*, recomenda-se a realização de uma análise aos contadores de gás natural instalados para analisar possíveis problemas de dimensionamento (adequação da gama de medição).
- Aconselha-se a *Verallia* a estudar aprofundadamente a possibilidade de utilizar o calor residual dos gases de exaustão para o pré-aquecimento da mistura de matérias-primas e do casco antes da sua introdução no forno de fusão. Isto porque, apesar dos problemas levantados pela diminuição da humidade da composição, a implementação desta medida tem um potencial considerável de diminuição de custos de produção, com a redução do consumo de energia e a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e/ou com o aumento da taxa de extração.
- Deverá proceder-se à continuação dos estudos de eficiência energética relativos ao consumo do parque de compressores, iniciados durante este estágio, com vista à implementação de oportunidades de melhoria do desempenho energético do sistema de ar comprimido.
- Considera-se que deverá ser melhorado o acompanhamento ao uso e consumo de energia nos compressores, nomeadamente no que diz respeito a determinar o potencial e as oportunidades de melhoria do seu desempenho energético, e que devem ser realizados esforços e investimentos no sentido de aplicar as medidas de eficiência energética adequadas para este uso significativo de energia.

## Referências bibliográficas

- [1] Comissão Europeia, «COMPREENDER AS POLÍTICAS DA UNIÃO EUROPEIA - Energia», pp. 97–112, 2015.
- [2] Comissão Europeia, «COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO Estado da União da Energia - 2015», 2015.
- [3] República Portuguesa, «Plano de Acção Nacional para as Energias Renováveis ao abrigo da directiva 2009/28/CE», *Resumo da Política Nac. Energias Renov.*, n. iii, pp. 6394–6397, 2010.
- [4] M. Dörr, S. Wahren, e T. Bauernhansl, «Methodology for energy efficiency on process level», *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 652–657, 2013.
- [5] S. Backlund, P. Thollander, J. Palm, e M. Ottosson, «Extending the energy efficiency gap», *Energy Policy*, vol. 51, pp. 392–396, Dez. 2012.
- [6] W. Kahlenborn, S. Kabisch, J. Klein, I. Richter, e S. Schürmann, «Energy Management - Systems in Practice: 50001 A guide for Companies and Organisations.» 2012.
- [7] CarbonTrust, «Energy Management—a comprehensive guide to controlling energy use», 2011.
- [8] S. J. DeCanio, «Barriers within firms to energy-efficient investments», *Energy Policy*, vol. 21, n. 9, pp. 906–914, Set. 1993.
- [9] V. Introna, V. Cesarotti, M. Benedetti, S. Biagiotti, e R. Rotunno, «Energy Management Maturity Model: An organizational tool to foster the continuous reduction of energy consumption in companies», *J. Clean. Prod.*, vol. 83, pp. 108–117, 2014.
- [10] K. Bunse, M. Vodicka, P. Schönsleben, M. Brühlhart, e F. O. Ernst, «Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature», *J. Clean. Prod.*, vol. 19, n. 6–7, pp. 667–679, Abr. 2011.
- [11] C. Böttcher e M. Müller, «Insights on the impact of energy management systems on carbon and corporate performance. An empirical analysis with data from German automotive suppliers», *J. Clean. Prod.*, 2014.
- [12] S. A. Ates e N. M. Durakbasa, «Evaluation of corporate energy management practices of energy intensive industries in Turkey», *Energy*, vol. 45, n. 1, pp. 81–91, Set. 2012.
- [13] P. Thollander e M. Ottosson, «Energy management practices in Swedish energy-intensive industries», *J. Clean. Prod.*, vol. 18, n. 12, pp. 1125–1133, Ago. 2010.
- [14] P. Antunes, P. Carreira, e M. Mira da Silva, «Towards an energy management maturity model», *Energy Policy*, vol. 73, pp. 803–814, 2014.

- [15] International Standard Organisation, «ISO 50001, Energy management systems — Requirements with guidance for use», 2011.
- [16] Associação Industrial do Distrito de Aveiro, «Sistema de Gestão Energética - Guia Prático», 2014.
- [17] I. Soares, *Eficiência Energética e a ISO 50001*, n. 1ª Edição. Edições Sílabo, Lda, 2015.
- [18] International Standard Organisation, «ISO SURVEY 2015.» 2015.
- [19] International Standard Organisation, «ISO 14001, Environmental Management Systems», 2004.
- [20] Comissão Europeia, «Regulamento n.º 1221/2009», *Off. J. Eur. Union*, vol. 52, n. 342, 2009.
- [21] T. H. H. Pham, «Energy management systems and market value: Is there a link?», *Econ. Model.*, vol. 46, pp. 70–78, 2015.
- [22] República Portuguesa, «Decreto-Lei n.º 68-A/2015 de 30 de abril», *Diário da República*, vol. 1.ª série, n. N.º 84, 2015.
- [23] CIRCUTOR, «Soluções para Serviços Energéticos Tecnologia para a Eficiência Energética.» 2014.
- [24] «Verallia Portugal.» [Online]. Disponível em: <https://pt.verallia.com/>. [Acedido: 27-Out-2016].
- [25] Verallia Portugal, «Declaração Ambiental 2015.» 2016.
- [26] Verallia Portugal, «Manual de Gestão Integrado.» 2016.
- [27] «Google Maps.» [Online]. Disponível em: <https://www.google.pt/maps>. [Acedido: 27-Out-2016].
- [28] B. M. Scalet, M. Garcia Muñoz, Q. Sissa Aivi, S. Roudier, e D. S. Luis, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass*. 2013.
- [29] C. H. Drummond, *67th Conference on Glass Problems: Ceramic Engineering and Science Proceedings, Volume 28*, n. n.º 1. Wiley, 2009.
- [30] «GlassGlobal Consulting.» [Online]. Disponível em: <http://www.glassglobal.com/consulting/reports/technology/>. [Acedido: 27-Out-2016].
- [31] «Teplotechna-Prima.» [Online]. Disponível em: <http://www.teplotechna-prima.com/en-produkt.php?pro=sklarske-pece>. [Acedido: 27-Out-2016].

- [32] NIST, «Guide for the Use of the International System of Units (SI)», *Med. Sci. Sport. Exerc.*, vol. 31, n. 1, pp. 198–205, 1999.
- [33] F. Cunha e A. Serrano, «Auditoria Energética e Plano de Racionalização do Consumo de Energia - Verallia Portugal 2015», 2015.
- [34] W. Trier, K. L. Loewenstein, e S. of G. Technology, *Glass Furnaces: Design, Construction and Operation*. Society of Glass Technology, 1987.



## **Anexos**

## Anexo A – Documentação do sistema de gestão de energia

Norma ISO 50001 / Uso significativo de energia		Documentos do SGE
4.3	manual	"Manual de Gestão Integrado"
4.4	procedimento	"Planeamento Energético"
4.4.2	procedimento	"Requisitos Legais"
4.4.3	procedimento	"Avaliação Energética"
	registo	Lista de Usos Significativos de Energia
	registo	Lista de Variáveis Relevantes
	registo	Lista de Oportunidades de Melhoria Priorizadas
4.4.4	procedimento	"Planeamento Energético"
4.4.5	procedimento	"Indicadores de Desempenho Energético"
4.4.6	procedimento	"Planeamento Energético"
	registo	Programa de Gestão de Energia
4.5.2	procedimento	"Formação"
	registo	Plano de Formação
4.5.3	procedimento	"Comunicação Interna e Externa"
4.5.4	procedimento	"Controlo de Documentos do SGI"
4.5.5	procedimento	"Controlo Operacional"
4.5.6	procedimento	"Alteração e Aceitação de Novos Processos"
4.5.7	procedimento	"Compras"
	procedimento	"Avaliação de Fornecedores"
4.6.1	procedimento	"Monitorização e Medição"
	procedimento	"Monitorização e Medição de Energia"
	procedimento	"Verificação e Ajuste de Equipamentos"
	procedimento	"Gestão dos Equipamentos de Monitorização e Medição"
4.6.2	procedimento	"Requisitos Legais"
4.6.3	procedimento	"Auditorias Internas"
4.6.4	procedimento	"Ações Corretivas"
	procedimento	"Ações Preventivas"
	procedimento	"Não Conformidades"
4.6.5	procedimento	"Controlo dos Registos do SGI"
4.7	manual	"Manual de Gestão Integrado"
<b>Controlo de processo</b>		
Fusão	procedimento operativo	"Controlo de receção de matérias primas"
	procedimento operativo	"Análise granulométrica de matérias primas e casco"
	procedimento operativo	"Determinação do teor de contaminantes no casco externo"
	procedimento operativo	"Recolha de amostras de matérias primas e casco externo"
	procedimento operativo	"Controlo da temperatura do vidro"
	procedimento operativo	"Determinação da humidade das matérias primas, casco e composição"
	procedimento operativo	"Controlo da quantidade de oxigénio na combustão"
	procedimento operativo	"Determinação dos parâmetros de cor do vidro"
Feeders	procedimento operativo	"Controlo de temperatura nos <i>feeders</i> "
Arcas	procedimento operativo	"Seguimento do processo de recozimento"
Ar comprimido	procedimento operativo	"Controlo de Operação Sistema de Ar Comprimido"
Ventilação máq. IS	procedimento operativo	"Controlo de Operação Ventilação de Máquinas IS"
<b>Manutenção Preventiva</b>		
Fusão	procedimento operativo	"Manutenção preventiva de fornos"
<b>Situação de emergência</b>		
Fusão	procedimento operativo	"Reação à falta de Ar de Combustão nos Fornos de vidro"
	procedimento operativo	"Reação à falta de Fuel Gás Apoio Elétrico nos Fornos de vidro"
Geral	procedimento operativo	"Reações a corte de corrente"
	procedimento operativo	"Plano ações do electricista por paragens originadas por cortes de corrente"



## Anexo B – Procedimentos operacionais de exploração e boas práticas

Objetivo	Procedimentos Operacionais de Exploração / Boas Práticas	Detalhe
Redução de consumo de energia de Fusão	Aumento da taxa de incorporação de casco na composição.	Maximizar a incorporação de casco por cor.
	Seguimento diário da humidade de matérias-primas, casco e composição.	Otimização do processo de fusão através do controlo diário da percentagem de humidade individual de matérias-primas e casco, e da percentagem de humidade da composição (mistura de matérias-primas e casco), de forma a manter um valor ótimo.
	Seguimento semanal da percentagem de O <sub>2</sub> na combustão.	Otimização do processo de fusão com o controlo semanal da combustão por forno, através da medição da percentagem de O <sub>2</sub> , de forma a manter um valor ótimo.
	Seguimento diário dos parâmetros de cor.	Manter a cor do vidro dentro de parâmetros (critério de controlo de qualidade) e, preferencialmente, abaixo do valor médio do intervalo (quanto mais escuro o vidro, maior o consumo de energia da fusão).
	Seguimento diário de metas energéticas por cor de vidro produzido.	Calcular o consumo específico de energia diário e comparar com o objetivo traçado em orçamento, para cada cor.
	Verificação mensal do estado de obstrução das câmaras de regeneração.	Seguimento mensal do estado de obstrução das câmaras de regeneração de cada forno através da medição de pressões e depressões de alto e baixo câmaras, bem como fotos do estado de reflexão da radiação do forno na base das câmaras.
	Manutenção preventiva dos fornos.	Proceder às atividades previstas de manutenção preventiva dos fornos, conforme plano de manutenção preventiva, de modo a manter a sua estanquicidade.
Aumento da percentagem de casco introduzida na composição	Controlo eficaz da qualidade de casco externo em 100% dos camiões rececionados.	Controlo diário através de ensaios de inspeção em laboratório de amostras de casco externo, de forma a garantir a maximização da taxa de introdução de casco na composição sem prejudicar a qualidade da produção (aumento da percentagem de infundidos, etc.).
	Controlo semanal do stock de casco existente para ajuste da taxa de incorporação de casco.	Verificação "in loco" dos diferentes locais de armazenamento de casco e de stocks registados, com vista a maximizar a taxa de incorporação de casco de acordo com a quantidade existente.
Redução do consumo de energia de <i>feeders</i>	Limpeza de queimadores.	Verificação e limpeza semestral dos queimadores de canais e <i>feeders</i> , de forma a evitar entupimentos, facilitando a manutenção da pressão de combustão.
	Limpeza de sulfatos na superestrutura.	Com limpeza de sulfatos da superestrutura visa-se evitar fugas e melhorar a regulação da pressão de <i>feeders</i> .
	Manter estabilidade da temperatura de fusão.	Promover a estabilidade da temperatura de fusão, de modo a ter estabilidade no acondicionamento do vidro.
	Estabelecimento da melhor temperatura de fusão em função do <i>mix</i> de modelos em produção.	Em articulação com o departamento de fusão, estabelecer um valor ótimo de temperatura para cada forno e cor de vidro, dependendo da sonda de referência.
	Estabelecimento das temperaturas ótimas de operação.	Controlo de consumos de <i>feeders</i> em função do controlo dos valores de temperatura por zona.
	Monitorização de consumos de gás natural por modelo.	Leitura de consumos de gás natural de <i>feeders</i> e controlo de consumos por modelo.
	Seguimento por turno das temperaturas de operação.	Seguimento por turno das temperaturas de operação de canais e <i>feeders</i> , verificando se se mantém a curva pretendida, com registo nas folhas de controlo de processo.
	Regulação automática preferencial.	-

Objetivo	Procedimentos Operacionais de Exploração / Boas Práticas	Detalhe
Redução do consumo de energia de <b>arcas</b>	Estabelecimento da curva ótima de operação.	Controlo de consumos de arcas através do controlo das curvas de operação (valores de temperatura por zona) atendendo a variações de produção, temperatura ambiente, características do vidro, etc.
	Seguimento por turno das temperaturas de operação.	Seguimento por turno das temperaturas de operação das arcas, verificando se se mantém a curva pretendida, com registo nas folhas de controlo de processo.
	Verificação diária do funcionamento de recirculadores, correias e tração.	Rotina diária de verificação do funcionamento das arcas de recozimento pela oficina mecânica.
	Revisão de queimadores e tubos radiantes.	Limpeza e reparação, se necessário, de queimadores e tubos radiantes das arcas de recozimento.
	Monitorização de consumos de gás natural por modelo.	Leitura de consumos de gás natural de arcas, e controlo de consumos por modelo.
Redução do consumo de <b>ar comprimido</b>	Seguimento diário mecânico com registo.	Seguimento e controlo diário do parque de compressores, com consequente otimização conforme as necessidades da produção, por parte de operador da oficina mecânica.
	Seguimento do abaixamento da pressão de funcionamento.	Seguimento da pressão de baixa a 3,3 bar.
		Seguimento da pressão de alta a 5,7 bar.
	Deteção e resolução de fugas de ar comprimido.	Elaboração de auditorias às redes de ar comprimido para deteção e resolução de fugas. A realizar internamente e por empresa externa duas vezes ao ano.
	Manutenção preventiva do sistema de ar comprimido.	Proceder às atividades previstas de manutenção preventiva de compressores e equipamentos relacionados, de modo a manter as suas condições de funcionamento (oficina mecânica).
Redução do consumo da <b>ventilação (máquinas IS)</b>	Estudo de eficiência do parque de compressores.	Estudo por empresa externa para o melhoramento da eficiência do sistema de ar comprimido (anual). Melhoria do estudo de eficácia existente tendo em conta parâmetros como a temperatura ambiente, temperatura da água de refrigeração, etc.
	Seguimento semanal e otimização consoante necessidades produção.	Seguimento semanal através de carta de controlo de processo na oficina elétrica e otimização, conforme discutido com os responsáveis pela produção.
	Cumprimento do plano de lubrificação.	Parte integrante da rotina de lubrificação mensal - circuito cave.
	Manutenção preventiva dos ventiladores da máquinas IS.	Proceder às atividades previstas de manutenção preventiva de ventiladores de modo a manter as suas condições de funcionamento (oficina mecânica e elétrica).
	Revisão das condições funcionamento de chumaceiras e rolamentos.	A realizar no início de cada fabricação.
	Acompanhamento de vibrações e temperatura de rolamentos.	Análise por empresa externa a cada 3 meses.

**Anexo C – Levantamento dos contadores de gás natural da instalação**

Localização	Código	Modelo	Nº de série	$Q_{\max}/Q_{\min}$	$T_{\min}/T_{\max}$	$P_{\max}$	Estado
				(m³/h)	(°C)	(bar)	
Canal Forno 1	CG 14 01	COMMON HV G100 DN65	859136/2015	160/8	-25/70	20	Em funcionamento
Canal Forno 2	CG 14 02	COMMON HV G100 DN65	P-16574/2013	160/8	-25/70	20	Em funcionamento
<b>Feeder 11</b>	<b>CG 14 03</b>	<b>Schlumberger MTS60 DN50</b>	<b>03110-1988</b>	<b>60/-</b>		<b>16</b>	<b>Avariado</b>
Feeder 12	CG 14 04	Schlumberger MTS60 DN50	42332-1995	60/-		16	Em funcionamento
Feeder 13	CG 14 05	ITRON MZ 50 DN 50	3400852920/C/2012	100/6	-30/60	16	Em funcionamento
Feeder 21	CG 14 06	COMMON HV G100 DN65	859137/2015	160/8	-25/70	20	Em funcionamento
Feeder 22	CG 14 07	COMMON HV G100 DN65	859135/2015	160/8	-25/70	20	Em funcionamento
<b>Feeder 23</b>	<b>CG 14 08</b>	<b>ITRON MZ 50 DN 50</b>	<b>3401670583/2014</b>	<b>100/6</b>	<b>-30/60</b>	<b>16</b>	<b>Avariado</b>
Feeder 24	CG 14 09	COMMON HV G65 DN50	858539/2014	100/10		20	Em funcionamento
Arca 11	CG 14 10	Elster QA16 25 G I	69167804/2006	25/2	-10/60	4	Em funcionamento
Arca 12	CG 14 11	Elster QA16 25 G I	69167805/2006	25/2	-10/60	4	Em funcionamento
Arca 13	CG 14 12	Elster QA25 25 G I	69255243/2013	40/2,5	-10/60	4	Em funcionamento
Arca 21	CG 14 13	COMMON G40 DN40	P-141006/2013	65/6	-25/70	20	Em funcionamento
Arca 22	CG 14 14	Elster QA40 40 G F	69235119/2011	65/5	-10/60	4	Em funcionamento
Arca 23	CG 14 15	COMMON G40 DN40	853338/2013	65/6	-25/70	20	Em funcionamento
Arca 24	CG 14 16	Schlumberger MTS60 DN50	41188-1995	60/-		16	Em funcionamento
Forno Retrátíl 1	CG 14 17	Elster QA25 25 G I	69266347/2013	40/2,5	-10/60	4	Em funcionamento
<b>Forno Retrátíl 2</b>	<b>CG 14 18</b>	<b>Schlumberger MTS60 DN50</b>	<b>42304-1995</b>	<b>60/-</b>		<b>16</b>	<b>Avariado</b>
Forno Moldes F1	CG 14 19	Elster QA25 25 G I	69198072/2008	40/2,5	-10/60	4	Em funcionamento
Forno Moldes F2	CG 14 20	Elster QA25 25 G I	69200166/2008	40/2,5	-10/60	4	Em funcionamento
Balneários SAINT-GOBAIN	CG 14 21	Elster QA16 25 G I	69195894/2008	25/2	-10/60	4	Em funcionamento
Balneários CEDÊNCIA	CG 14 22	Elster QA10 25 G I	69202556/2008	16/1,6	-10/60	4	Em funcionamento
Serigrafia	CG 14 23	Schlumberger MTS60 DN50	06815-1991	60/-		16	Em funcionamento

**Anexo D – Plano de calibração dos contadores de gás natural da instalação**

Identificação do equipamento	Código	Periodicidade de calibração	Estado/Observações*
Contador Canal Forno 1	CG 14 01	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Canal Forno 2	CG 14 02	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Feeder 11	CG 14 03	5 anos	c, adquirir novo contador
Contador Feeder 12	CG 14 04	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Feeder 13	CG 14 05	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Feeder 21	CG 14 06	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Feeder 22	CG 14 07	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Feeder 23	CG 14 08	5 anos	c, adquirir novo contador
Contador Feeder 24	CG 14 09	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Arca 11	CG 14 10	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Arca 12	CG 14 11	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Arca 13	CG 14 12	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Arca 21	CG 14 13	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Arca 22	CG 14 14	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Arca 23	CG 14 15	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Arca 24	CG 14 16	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Forno Retrátil 1	CG 14 17	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Forno Retrátil 2	CG 14 18	5 anos	c, adquirir novo contador
Contador Forno Moldes F1	CG 14 19	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Forno Moldes F2	CG 14 20	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Balneários SAINT-GOBAIN	CG 14 21	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Balneários CEDÊNCIA	CG 14 22	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Serigrafia	CG 14 23	5 anos	a, próxima verificação 2021
Contador Forno 1	CG 14 24	5 anos	Adquirido, colocação 06/2016
Contador Forno 2	CG 14 25	5 anos	Colocação após avaliação do desempenho do contador do forno 1

\* a - Verificado; b - Para reparar; c – Obsoleto.

## Anexo E – Plano de calibração dos equipamentos de medição de energia elétrica relacionados com os usos significativos de energia

Identificação	Dispositivo	Comunicação	Data de verificação	Próxima verificação
Compressor C100	CVM-NRG96	CABLE 2	Mai/16	2021
Compressor C155-1	CVM-NRG96	CABLE 2	Mai/16	2021
Compressor C950	CVM-NRG96	CABLE 2	Mai/16	2021
Compressor C21	CVM-K	CABLE 4	Mai/16	2021
Compressor C42	CVM-K	CABLE 4	Mai/16	2021
Compressor C60-1	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Compressor C60-2	CVM-K	CABLE 4	Mai/16	2021
Compressor C70	CVM-K	CABLE 4	Mai/16	2021
Compressor M200	CVM-K	CABLE 4	Mai/16	2021
Compressor MH132	CVM-K	CABLE 4	Mai/16	2021
Compressor ML132	CVM-NRG96	CABLE 2	Mai/16	2021
Compressor ML200	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Compressor ZH10000	CVM-NRG96	CABLE 2	Mai/16	2021
Eléctrodo Feeder 11A	CVM-NRG96	CABLE 2	Mai/16	2021
Eléctrodo Feeder 11B	CVM-NRG96	CABLE 2	Mai/16	2021
Eléctrodo Feeder 12A	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Eléctrodo Feeder 12B	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Eléctrodo Feeder 13A	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Eléctrodo Feeder 13B	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Eléctrodo Feeder 24A	CVM-K	CABLE 3	Mai/16	2021
Eléctrodo Feeder 24B	CVM-K	CABLE 3	Mai/16	2021
Eléctrodos Feeder 21	CVM-NRG96	CABLE 3	Mai/16	2021
Eléctrodos Feeder 22	CVM-K	CABLE 4	Mai/16	2021
Eléctrodos Fonte F1	CVM-NRG96	OFICINA	Mai/16	2021
Eléctrodos Fonte F2	CVM-NRG96	OFICINA	Mai/16	2021
Eléctrodos Fusão 1 F2	CVM-NRG96	OFICINA	Mai/16	2021
Eléctrodos Fusão 2 F2	CVM-NRG96	OFICINA	Mai/16	2021
Eléctrodos Fusão F1	CVM-NRG96	OFICINA	Mai/16	2021
Ventilador Convoyeur Máquina 11	CVM-NRG96	CABLE 2	Mai/16	2021
Ventilador Convoyeur Máquina 12	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Ventilador Convoyeur Máquina 13	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Ventilador Máquina 11A	CVM-NRG96	CABLE 2	Mai/16	2021
Ventilador Máquina 11B	CVM-NRG96	CABLE 2	Mai/16	2021
Ventilador Máquina 12	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Ventilador Máquina 13A	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Ventilador Máquina 13B	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Ventilador Máquina 21	CVM-K	CABLE 3	Mai/16	2021
Ventilador Máquina 22	CVM-K	CABLE 3	Mai/16	2021
Ventilador Máquina 23	CVM-K	CABLE 3	Mai/16	2021
Ventilador Máquina 24A	CVM-K	CABLE 3	Mai/16	2021
Ventilador Máquina 24B	CVM-K	CABLE 3	Mai/16	2021
Ventilador Vertiflow Máquina 11	CVM-NRG96	CABLE 2	Mai/16	2021
Ventilador Vertiflow Máquina 12	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Ventilador Vertiflow Máquina 13A	CVM-K	CABLE 1	Mai/16	2021
Ventilador Vertiflow Máquina 21	CVM-K	CABLE 3	Mai/16	2021
Ventilador Vertiflow Máquina 22	CVM-K	CABLE 3	Mai/16	2021
Ventilador Vertiflow Máquina 23	CVM-K	CABLE 3	Mai/16	2021
Ventilador Vertiflow Máquina 24AB	CVM-K	CABLE 3	Mai/16	2021

## Anexo F – Relatório de seguimento de objetivos mensais no *CIRCUTOR*



Pág.1/1

### Seguimento de Objectivos Energéticos 2016 (MENSAL)

Período de Informação:						
		desde	01/04/2016 00:00:00	até	01/05/2016 00:00:00	
	Objectivo (kWh)	Consumido (kWh)	Diferença	Objectivo (€)	Consumido (€)	Diferença
Compressores 3.5 bar	1.413.789	1.417.105	-3.316	102.782	103.024	-241
Compressores 7 bar	277.889	278.679	-790	20.203	20.260	-57
<b>Total Compressores</b>	<b>1.691.678</b>	<b>1.695.784</b>	<b>-4.106</b>	<b>122.985</b>	<b>123.283</b>	<b>-298</b>
Ventiladores Máquinas IS	941.672	962.568	-20.896	68.460	69.979	-1.519
Eléctrodos Fornos 1 e 2	1.077.524	926.669	150.855	78.336	67.369	10.967
Eléctrodos Feeders	216.667	202.399	14.268	15.752	14.714	1.037
Serigrafia	7.208	8.397	-1.189	524	610	-86
Bombas de Água	117.355	131.544	-14.189	8.532	9.563	-1.032
Bombas de Vácuo	64.574	58.306	6.268	4.695	4.239	456
Arcas	92.126	95.391	-3.265	6.698	6.935	-237
Máquinas IS	64.101	61.699	2.402	4.660	4.486	175
Vidro Frio	155.298	153.952	1.346	11.290	11.192	98
Composição/Matérias Primas	55.489	71.892	-16.403	4.034	5.227	-1.193
Ventiladores fornos	163.651	164.299	-648	11.897	11.945	-47
Iluminação + Tomadas	112.791	108.469	4.322	8.200	7.886	314
Escritórios	14.423	14.740	-317	1.049	1.072	-23
Etar	7.719	6.813	906	561	495	66
Electrofiltro	135.000	113.115	21.885	9.815	8.223	1.591
Subestação	5.314.688	4.873.714	440.974	386.378	354.319	32.059
Restantes	397.413	97.676	299.737	28.892	7.101	21.791
Ventiladores Feeders						
Maceiras						
PT0						

## Anexo G – Resultados da auditoria interna ao SGE

Não conformidades (NC), observações (OBS) e oportunidades de melhoria (OM)	Possíveis causas	Ações corretivas
<b>NC 1:</b> Durante a visita às instalações constatou-se que existia iluminação ligada em locais em que não seria necessária, por exemplo: iluminação de placard na entrada dos fornos, sendo esta já iluminada por projetores, iluminação ligada em zonas de passagem e onde existem telhas translúcidas junto às oficinas de manutenção.	O foco de gestão energética incidiu sobre os consumos significativos; gás natural e eletricidade utilizada no processo de fabrico de vidro de embalagem.	Solicitar avaliação luminotécnica. Sensibilização interna para redução de consumos relativos à iluminação.
<b>NC 2:</b> A organização deve assegurar que o equipamento utilizado na monitorização e medição das características-chave fornece dados exatos e repetíveis. Não foi evidenciada a metodologia adotada para assegurar a exatidão e repetibilidade das verificações realizadas aos contadores de energia instalados.	<b>Contadores de Gás natural:</b> Foi solicitada calibração externa dos contadores (23), exceto fornos. À data da auditoria interna a calibração dos contadores encontrava-se em curso. No que se refere ao contador do Forno 1, foi comprado, mas ainda não se encontrava instalado à data da auditoria interna. Quanto ao Forno 2, o contador apenas será instalado ou calibrado após análise dos resultados obtidos no contador do Forno 1. <b>Contadores de Energia elétrica:</b> À data da auditoria interna estava planeada a verificação por empresa externa dos equipamentos de medição afetos aos usos significativos de energia, e em análise a calibração do analisador de energia para verificação interna dos restantes equipamentos de medição. Foi ainda adquirido um novo contador de eletricidade geral da fábrica, calibrado; contudo, à data da auditoria, o mesmo ainda não tinha sido instalado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Calibrar externamente contadores de Gás natural (exceto fornos);</li> <li>b) Instalar contador de Gás natural no Forno 1 e avaliar a instalação/calibração de contador no Forno 2;</li> <li>c) Verificar externamente os contadores de energia elétrica afetos aos usos significativos, e calibrar analisador de energia;</li> <li>d) Planejar a verificação interna dos restantes contadores de energia elétrica;</li> <li>e) Instalar o contador de energia elétrica geral.</li> </ul>
<b>OBS1:</b> A atualização da avaliação energética significa atualizar as informações relacionadas com a análise, determinação da significância e determinação das oportunidades de melhoria de desempenho energético. Não foi evidenciada uma análise do aproveitamento do calor emitido pelos fornos.	Foi efetuado um estudo sobre o aproveitamento do calor dos gases de combustão para produção de energia elétrica; contudo, o mesmo não foi apresentado na auditoria.	Evidenciar mais explicitamente os estudos realizados, internamente ou pelo grupo, sobre aproveitamento de calor emitido pelos fornos ou outras oportunidades de melhoria de eficiência energética do processo.
<b>OM1:</b> Conhecer o impacto real das ações implementadas, por exemplo substituição de iluminação e mudança do refratário dos fornos.	Não aplicável (n.a.)	Implementar as medidas propostas nos relatórios de auditoria energética e analisar os resultados obtidos.

Não conformidades (NC), observações (OBS) e oportunidades de melhoria (OM)	Possíveis causas	Ações corretivas
<b>OM2:</b> Incluir na lista de requisitos legais o Regulamento nº 640/2009 sobre a eficiência dos motores elétricos.	n.a.	Atualizar a lista de requisitos legais com o Regulamento nº 640/2009.
<b>OM3:</b> Estimar o uso e consumo de energia futuros usando, por exemplo, uma reta de regressão linear através da correlação dos IDE.	n.a.	Estimar o uso e consumo de energia futuros usando uma reta de regressão linear, atendendo ao plano industrial a 5 anos (direção fabril).
<b>OM4:</b> Adequar a metodologia de avaliação de usos e consumos significativos para ser menos subjetiva.	n.a.	Eliminar o critério de "Potencial de melhoria" por não ser possível efetuar uma avaliação objetiva do mesmo para todos os usos de energia.
<b>OM5:</b> Adequar/definir IDE adequados aos produtos fabricados, e definir para cada tipo de garrafa uma <i>baseline</i> .	n.a.	Nota explicativa: Atualmente não é viável para a <i>Verallia</i> realizar este tipo de seguimento porque a tecnologia existente não o permite.
<b>OM6:</b> A <i>Verallia</i> deve identificar as necessidades de formação associadas ao controlo das suas utilizações significativas de energia e ao funcionamento do SGE, e providenciar formação ou desenvolver outras ações para responder a estas necessidades.  Deve definir para os colaboradores relacionados com o uso significativo quais as suas competências.	n.a.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Providenciar a formação/sensibilização, atendendo ao levantamento das necessidades de formação realizado para 2016;</li> <li>b) Rever as descrições de funções dos colaboradores que podem ter impacte nos usos significativos de energia;</li> <li>c) Elaborar tabela com os colaboradores/funções que podem ter impacte nos usos significativos de energia.</li> </ul>
<b>OM7:</b> Registrar os resultados das atividades de conceção.	n.a.	Alterar o procedimento de "Alteração de novos processos": incluir a necessidade de registar os resultados das atividades de conceção.
<b>OM8:</b> Informar os fornecedores que a contratação é parcialmente avaliada com base no desempenho energético.	n.a.	Atualizar as normas de conduta e permanência na <i>Verallia</i> . Enviar as normas alteradas para os fornecedores relevantes.
<b>OM9:</b> Definir, aquando do aprovisionamento de produtos, equipamentos, e serviços de energia, os critérios para avaliar o uso, consumo e eficiência energética ao longo da vida útil, prevista ou esperada, que poderão ter um impacto significativo sobre o desempenho energético da organização	n.a.	Alterar o procedimento de compras referindo a necessidade de avaliar o uso, consumo e eficiência energética, prevista ou esperada, ao longo da vida útil de produtos, equipamentos e serviços que poderão ter um impacto significativo sobre o desempenho energético da organização.
<b>OM10:</b> Incluir no manual de gestão integrado todas as entradas e saídas na revisão para o SGE como, por exemplo, o desempenho energético para o futuro.	n.a.	Incluir no manual de gestão integrado todas as entradas e saídas na revisão para o SGE como, por exemplo, o desempenho energético para o futuro.



## Anexo H – Determinação da influência da obra de reconstrução e da colocação da sonda de O<sub>2</sub> no Forno 1 (campanhas de vidro branco)

Data	Energia Real (kWh/tVF)	Extração Real (tVF)	Casco Real (%)	Influência Extração (%)	Influência Casco (%)	Influência Extração (kWh/tVF)	Influência Casco (kWh/tVF)	Energia Normalizada (kWh/tVF)
22/05/13	1309	351,2	22,5%	-4,91%	27,58%	-64,30	361,12	1012,66
23/05/13	1190	388,8	22,5%	-7,69%	27,58%	-91,58	328,27	953,67
24/05/13	1189	384,5	28,6%	-7,40%	24,89%	-88,04	295,98	981,40
25/05/13	1175	382,8	28,6%	-7,29%	24,89%	-85,64	292,52	968,55
26/05/13	1193	381,4	22,8%	-7,19%	27,45%	-85,78	327,48	951,52
27/05/13	1243	375,0	16,6%	-6,74%	30,18%	-83,71	375,01	951,23
28/05/13	1243	364,5	28,9%	-5,96%	24,75%	-74,11	307,79	1009,74
29/05/13	1233	380,9	21,9%	-7,15%	27,84%	-88,24	343,40	978,20
30/05/13	1226	382,0	20,0%	-7,23%	28,68%	-88,65	351,65	963,08
31/05/13	1213	380,4	24,5%	-7,12%	26,70%	-86,33	323,70	975,21
01/06/13	1208	382,8	28,6%	-7,29%	24,89%	-88,05	300,74	995,76
02/06/13	1198	385,4	28,6%	-7,46%	24,89%	-89,39	298,06	989,02
03/06/13	1206	377,5	28,6%	-6,92%	24,89%	-83,39	300,10	989,20
04/06/13	1191	380,5	29,0%	-7,13%	24,71%	-84,90	294,39	981,93
05/06/13	1228	368,4	28,6%	-6,25%	24,89%	-76,78	305,52	998,94
06/06/13	1197	382,8	28,6%	-7,29%	24,89%	-87,22	297,91	986,39
07/06/13	1179	386,6	28,6%	-7,55%	24,89%	-88,95	293,37	974,43
08/06/13	1180	390,8	28,6%	-7,83%	24,89%	-92,35	293,65	978,66
09/06/13	1178	394,1	28,6%	-8,04%	24,89%	-94,74	293,15	979,55
10/06/13	1197	391,5	19,1%	-7,87%	29,08%	-94,27	348,18	943,50
11/06/13	1254	358,9	25,5%	-5,53%	26,25%	-69,33	329,27	994,22
12/06/13	1226	340,7	28,6%	-4,02%	24,89%	-49,33	305,07	970,11
13/06/13	1218	340,6	28,6%	-4,02%	24,89%	-48,91	303,17	963,97
14/06/13	1200	361,4	29,5%	-5,72%	24,49%	-68,65	293,76	974,44
15/06/13	1198	365,7	28,6%	-6,05%	24,89%	-72,49	298,11	972,28
16/06/13	1155	365,7	28,3%	-6,05%	25,02%	-69,88	288,91	935,76
Valor médio								975,90
04/10/13	1253	347,8	16,7%	-4,63%	30,14%	-58,00	377,55	933,23
05/10/13	1263	347,8	16,7%	-4,63%	30,14%	-58,46	380,57	940,69
06/10/13	1247	346,5	16,7%	-4,52%	30,14%	-56,38	375,86	927,69
07/10/13	1242	345,3	18,1%	-4,42%	29,52%	-54,90	366,74	930,54
08/10/13	1213	360,9	23,1%	-5,68%	27,31%	-68,95	331,32	950,68
09/10/13	1222	352,6	23,1%	-5,02%	27,31%	-61,41	333,77	949,66
10/10/13	1221	353,9	23,1%	-5,13%	27,31%	-62,62	333,39	949,85
11/10/13	1232	354,8	23,1%	-5,20%	27,31%	-64,08	336,42	959,37
12/10/13	1225	354,8	23,1%	-5,20%	27,31%	-63,75	334,66	954,36
13/10/13	1233	354,9	23,1%	-5,21%	27,31%	-64,27	336,87	960,77
14/10/13	1219	357,5	23,1%	-5,42%	27,31%	-66,05	332,96	952,15
15/10/13	1247	357,8	24,2%	-5,44%	26,83%	-67,85	334,51	980,23
16/10/13	1234	362,6	23,1%	-5,82%	27,31%	-71,73	336,90	968,33
17/10/13	1251	365,7	16,7%	-6,05%	30,14%	-75,71	377,03	949,74
18/10/13	1252	365,9	16,7%	-6,07%	30,14%	-75,93	377,20	950,35
19/10/13	1267	362,4	16,7%	-5,80%	30,14%	-73,50	381,93	958,89
20/10/13	1262	357,6	16,7%	-5,43%	30,14%	-68,45	380,19	949,81
21/10/13	1264	356,3	16,7%	-5,32%	30,14%	-67,28	380,94	950,38
22/10/13	1293	348,1	16,7%	-4,65%	30,14%	-60,18	389,63	963,41
23/10/13	1263	353,1	16,7%	-5,07%	30,14%	-63,97	380,62	946,32
24/10/13	1264	366,7	16,7%	-6,13%	30,14%	-77,44	380,93	960,50
25/10/13	1259	351,1	16,7%	-4,90%	30,14%	-61,71	379,34	941,10
26/10/13	1222	367,5	21,3%	-6,19%	28,11%	-75,61	343,50	954,22
27/10/13	1235	367,4	23,1%	-6,18%	27,31%	-76,33	337,39	974,22

Data	Energia Real (kWh/tVF)	Extração Real (tVF)	Casco Real (%)	Influência Extração (%)	Influência Casco (%)	Influência Extração (kWh/tVF)	Influência Casco (kWh/tVF)	Energia Normalizada (kWh/tVF)
28/10/13	1210	360,0	31,5%	-5,61%	23,61%	-67,93	285,63	992,27
29/10/13	1198	358,8	33,3%	-5,52%	22,81%	-66,15	273,35	991,06
30/10/13	1204	358,9	33,3%	-5,53%	22,81%	-66,54	274,59	995,63
Valor médio								956,87
REPARAÇÃO DO FORNO 1 (FEV-MAR 2014)								
20/05/14	1131	390,5	18,9%	-7,81%	29,17%	-88,28	329,82	889,29
21/05/14	1133	390,4	16,7%	-7,80%	30,14%	-88,37	341,46	879,95
22/05/14	1143	389,7	16,7%	-7,75%	30,14%	-88,59	344,35	886,87
23/05/14	1149	390,7	16,7%	-7,82%	30,14%	-89,86	346,30	892,66
24/05/14	1143	389,4	16,7%	-7,73%	30,14%	-88,39	344,44	886,88
25/05/14	1136	387,1	16,7%	-7,58%	30,14%	-86,11	342,41	879,89
26/05/14	1155	379,5	16,7%	-7,06%	30,14%	-81,49	348,04	888,33
27/05/14	1035	382,2	51,8%	-7,24%	14,65%	-74,94	151,55	957,90
28/05/14	1137	379,7	23,1%	-7,07%	27,31%	-80,36	310,43	906,51
29/05/14	1124	383,3	23,1%	-7,32%	27,31%	-82,31	307,10	899,60
30/05/14	1126	383,6	23,1%	-7,34%	27,31%	-82,68	307,64	901,40
31/05/14	1125	381,7	23,1%	-7,21%	27,31%	-81,13	307,36	899,11
01/06/14	1116	378,2	23,1%	-6,96%	27,31%	-77,74	304,86	889,07
02/06/14	1110	402,3	23,1%	-8,57%	27,31%	-95,11	303,28	902,22
03/06/14	1128	397,2	23,1%	-8,24%	27,31%	-92,97	308,07	912,84
04/06/14	1125	391,6	23,1%	-7,88%	27,31%	-88,64	307,28	906,40
05/06/14	1123	390,3	23,1%	-7,79%	27,31%	-87,52	306,74	903,83
06/06/14	1137	394,0	19,2%	-8,04%	29,03%	-91,35	330,02	898,02
07/06/14	1176	389,6	9,1%	-7,75%	33,49%	-91,07	393,72	872,97
08/06/14	1161	390,9	9,1%	-7,83%	33,49%	-90,97	388,94	863,38
09/06/14	1173	378,5	9,1%	-6,99%	33,49%	-81,94	392,80	862,01
10/06/14	1102	390,6	15,1%	-7,81%	30,84%	-86,13	340,02	848,54
11/06/14	1087	398,7	29,0%	-8,34%	24,71%	-90,62	268,55	908,89
12/06/14	1078	394,0	33,3%	-8,04%	22,81%	-86,59	245,80	918,29
13/06/14	1092	394,6	32,1%	-8,08%	23,34%	-88,21	254,97	925,56
Valor médio								895,22
01/10/14	1121	399,9	24,8%	-8,41%	26,56%	-94,33	297,77	917,56
02/10/14	1106	398,3	28,6%	-8,31%	24,89%	-91,93	275,19	922,53
03/10/14	1101	401,3	28,6%	-8,50%	24,89%	-93,61	273,98	920,58
04/10/14	1099	401,2	28,6%	-8,50%	24,89%	-93,41	273,58	919,16
05/10/14	1090	402,7	28,6%	-8,59%	24,89%	-93,62	271,21	912,22
06/10/14	1101	390,9	28,6%	-7,83%	24,89%	-86,21	273,90	912,92
07/10/14	1109	372,5	28,6%	-6,56%	24,89%	-72,70	275,95	905,60
08/10/14	1126	366,0	28,6%	-6,07%	24,89%	-68,37	280,10	913,80
09/10/14	1092	387,2	28,6%	-7,59%	24,89%	-82,87	271,86	903,44
10/10/14	1093	393,5	28,6%	-8,00%	24,89%	-87,50	272,05	908,63
11/10/14	1164	393,3	11,1%	-7,99%	32,61%	-93,03	379,63	877,63
12/10/14	1173	390,6	9,1%	-7,81%	33,49%	-91,64	392,83	871,78
13/10/14	1141	392,3	12,4%	-7,93%	32,03%	-90,40	365,41	865,69
14/10/14	1148	392,3	13,0%	-7,93%	31,77%	-90,99	364,74	874,32
15/10/14	1149	388,7	19,0%	-7,69%	29,12%	-88,30	334,54	902,52
16/10/14	1085	392,3	33,3%	-7,93%	22,81%	-86,01	247,58	923,73
17/10/14	1154	385,4	12,6%	-7,46%	31,95%	-86,13	368,63	871,41
18/10/14	1111	392,9	26,6%	-7,96%	25,77%	-88,46	286,22	912,98
Valor médio								902,03

**Anexo I – Determinação do caudal médio da instalação.**

(m<sup>3</sup>/min FAD)      ZH10000   C950   C155\_1   C100   C42   C60\_1   C60\_2   C70   C21  
 Caudal máximo      161   154   144   102   39,7   52   54   58   55

**Estimativa de caudal real (m<sup>3</sup>/min)**  
**Máximo**      508   (ZH10000; C950; C100; C60\_2; C21)  
**Mínimo**      288   (ZH10000; C950; C100)  
**Médio**      386

**Consumo específico (kW/(m<sup>3</sup>/min))**  
**Máximo**      6,8  
**Mínimo**      4,3  
**Médio**      5,4

Ano 2015	Potência ativa (kW)											Caudal (m <sup>3</sup> /min)	kW/ (m <sup>3</sup> /min)	Porcentagem de admissão							
Data/hora	ZH10000	C950	C155	C100	C42	C60_1	C60_2	C70	C21	TOTAL	ZH10000			C950	C155	C100	C42	C60_1	C60_2	C70	C21
13/06/15	695	640	639	0	0	0	0	0	0	1974	456	4,3	100%	99%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
14/06/15	691	642	636	0	0	0	0	0	0	1969	457	4,3	100%	99%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
15/06/15	693	606	611	0	47	0	0	0	0	1956	368	5,3	100%	68%	66%	0%	17%	0%	0%	0%	0%
16/06/15	689	610	612	0	48	0	0	0	0	1959	394	5,0	100%	78%	75%	0%	14%	0%	0%	0%	0%
17/06/15	683	632	628	0	0	0	0	0	0	1942	450	4,3	100%	97%	98%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
18/06/15	673	621	619	0	0	0	0	0	0	1912	443	4,3	100%	94%	96%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
19/06/15	669	613	613	0	0	0	0	0	0	1895	427	4,4	100%	88%	91%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
20/06/15	668	617	615	0	0	0	0	0	0	1899	444	4,3	100%	93%	97%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
21/06/15	677	621	622	0	0	0	0	0	0	1919	432	4,4	100%	88%	94%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
22/06/15	686	602	612	0	0	0	0	0	0	1900	354	5,4	100%	64%	66%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
23/06/15	687	613	616	0	0	0	0	0	0	1916	383	5,0	100%	75%	74%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
24/06/15	690	633	633	0	0	0	0	0	0	1956	434	4,5	100%	90%	94%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
25/06/15	686	624	625	0	0	0	0	0	0	1935	420	4,6	100%	87%	88%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
26/06/15	686	634	630	0	0	0	0	0	0	1950	451	4,3	100%	97%	98%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
27/06/15	678	620	614	0	105	0	0	0	0	2017	420	4,8	100%	83%	75%	0%	57%	0%	0%	0%	0%
28/06/15	681	591	595	0	212	0	0	0	0	2079	356	5,8	100%	58%	52%	0%	78%	0%	0%	0%	0%
29/06/15	681	604	604	0	122	0	0	0	0	2012	376	5,4	100%	69%	61%	0%	55%	0%	0%	0%	0%
30/06/15	682	605	608	0	133	0	0	0	0	2027	404	5,0	100%	73%	71%	0%	74%	0%	0%	0%	0%
01/07/15	680	601	607	0	144	0	0	0	0	2033	393	5,2	100%	67%	65%	0%	88%	0%	0%	0%	0%
02/07/15	688	613	613	0	141	0	0	0	0	2055	415	5,0	100%	78%	71%	0%	78%	0%	0%	0%	0%
03/07/15	690	616	620	0	141	0	0	0	0	2066	416	5,0	100%	76%	75%	0%	78%	0%	0%	0%	0%
04/07/15	682	611	615	0	147	0	0	0	0	2055	422	4,9	100%	77%	77%	0%	80%	0%	0%	0%	0%
05/07/15	689	602	611	0	146	0	0	0	0	2048	379	5,4	100%	65%	62%	0%	72%	0%	0%	0%	0%
06/07/15	688	580	591	0	52	0	0	0	0	1911	313	6,1	100%	51%	46%	0%	18%	0%	0%	0%	0%
07/07/15	687	570	581	0	0	0	0	0	0	1838	292	6,3	100%	47%	41%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
08/07/15	686	580	590	0	0	0	0	0	0	1856	308	6,0	100%	51%	47%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
09/07/15	687	577	587	0	0	0	0	0	0	1851	304	6,1	100%	51%	46%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10/07/15	689	576	587	0	0	0	0	0	0	1853	300	6,2	100%	49%	44%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
11/07/15	692	586	596	0	0	0	0	0	0	1873	315	6,0	100%	54%	49%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
12/07/15	693	587	595	0	0	0	0	0	0	1875	314	6,0	100%	54%	49%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
13/07/15	692	582	591	0	0	0	0	0	0	1865	308	6,1	100%	52%	46%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
14/07/15	692	596	605	0	0	0	0	0	0	1893	344	5,5	100%	62%	61%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
15/07/15	692	613	614	0	0	0	0	0	0	1918	393	4,9	100%	79%	77%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
16/07/15	685	627	623	0	0	0	0	0	0	1935	448	4,3	100%	96%	97%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
17/07/15	685	629	624	0	0	0	0	0	0	1937	454	4,3	100%	98%	99%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
18/07/15	689	634	627	0	0	0	0	0	0	1951	458	4,3	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
19/07/15	687	631	626	0	0	0	0	0	0	1944	456	4,3	100%	99%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
20/07/15	680	620	619	0	0	0	0	0	0	1919	443	4,3	100%	95%	95%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

## Anexos

21/07/15	683	624	622	0	0	0	0	0	0	1930	446	4,3	100%	95%	96%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
22/07/15	687	609	612	0	85	0	0	0	0	1993	399	5,0	100%	77%	72%	0%	40%	0%	0%	0%	0%
23/07/15	688	598	604	0	130	0	0	0	0	2019	380	5,3	100%	67%	64%	0%	61%	0%	0%	0%	0%
24/07/15	687	591	596	0	143	0	7	0	0	2023	345	5,9	100%	60%	48%	0%	58%	2%	0%	0%	0%
25/07/15	691	572	637	0	139	0	0	0	0	2039	394	5,2	100%	48%	98%	0%	45%	0%	0%	0%	0%
26/07/15	686	591	608	0	142	0	0	0	0	2027	422	4,8	100%	64%	94%	0%	66%	0%	0%	0%	0%
27/07/15	685	608	217	1	143	0	161	0	145	1959	364	5,4	100%	80%	34%	0%	80%	37%	0%	0%	0%
28/07/15	684	620	23	0	145	0	252	0	256	1981	397	5,0	100%	92%	2%	0%	92%	66%	0%	0%	100%
29/07/15	680	626	0	0	92	108	257	0	256	2020	439	4,6	100%	100%	0%	0%	59%	88%	0%	0%	100%
30/07/15	680	626	0	0	0	278	256	0	254	2095	405	5,2	100%	99%	0%	0%	0%	70%	0%	0%	100%
31/07/15	681	624	0	0	0	279	256	0	257	2096	396	5,3	100%	95%	--	0%	0%	65%	0%	0%	100%
01/08/15	685	624	0	0	0	281	257	0	258	2106	389	5,4	100%	90%	--	0%	0%	67%	0%	0%	100%
02/08/15	687	621	0	0	0	282	256	0	256	2100	378	5,6	100%	85%	--	0%	0%	61%	0%	0%	100%
03/08/15	687	618	0	0	0	282	254	0	260	2101	381	5,5	100%	85%	--	0%	0%	65%	0%	0%	100%
04/08/15	689	629	0	0	1	282	253	0	259	2113	397	5,3	100%	93%	--	0%	0%	71%	0%	0%	100%
05/08/15	691	626	0	0	54	283	255	0	261	2170	451	4,8	100%	89%	--	0%	34%	58%	100%	0%	100%
06/08/15	683	616	0	0	176	279	250	0	258	2263	461	4,9	100%	85%	--	0%	88%	51%	100%	0%	100%
07/08/15	690	610	0	0	201	281	246	0	259	2285	438	5,2	100%	76%	--	0%	69%	45%	100%	0%	100%
08/08/15	691	614	0	0	212	282	247	0	260	2306	447	5,2	100%	79%	--	0%	81%	47%	100%	0%	100%
09/08/15	681	622	0	0	207	279	244	0	258	2291	467	4,9	100%	92%	--	0%	75%	48%	100%	0%	100%
10/08/15	686	618	0	0	212	280	247	0	259	2303	457	5,0	100%	84%	--	0%	82%	46%	100%	0%	100%
11/08/15	688	613	0	0	194	280	249	0	260	2284	441	5,2	100%	76%	--	0%	76%	47%	100%	0%	100%
12/08/15	687	611	0	0	211	280	245	0	260	2293	434	5,3	100%	75%	--	0%	69%	42%	100%	0%	100%
13/08/15	694	631	0	0	135	282	247	0	261	2250	464	4,8	100%	95%	--	0%	61%	45%	100%	0%	100%
14/08/15	693	631	0	0	131	282	253	0	261	2251	472	4,8	100%	93%	--	0%	84%	51%	100%	0%	100%
15/08/15	689	594	0	0	139	280	241	0	260	2204	407	5,4	100%	61%	--	0%	59%	39%	100%	0%	100%
16/08/15	686	611	0	0	142	279	248	0	260	2225	444	5,0	100%	77%	--	0%	76%	48%	100%	0%	100%
17/08/15	687	612	0	0	143	279	247	0	259	2226	447	5,0	100%	78%	--	0%	85%	45%	100%	0%	100%
18/08/15	685	614	0	0	125	278	248	3	256	2209	453	4,9	100%	83%	--	0%	77%	49%	100%	0%	100%
19/08/15	687	610	0	0	141	280	247	2	259	2227	444	5,0	100%	78%	--	0%	78%	45%	100%	0%	100%
20/08/15	690	610	0	0	142	281	248	2	260	2233	439	5,1	100%	75%	--	0%	76%	45%	100%	0%	100%
21/08/15	689	605	0	0	176	280	246	0	260	2256	425	5,3	100%	70%	--	0%	64%	44%	100%	0%	100%
22/08/15	685	600	0	0	209	279	240	0	258	2272	421	5,4	100%	68%	--	0%	65%	38%	100%	0%	100%
23/08/15	691	592	0	0	207	283	239	0	260	2272	398	5,7	100%	59%	--	0%	50%	35%	100%	0%	100%
24/08/15	692	604	0	0	209	282	243	0	259	2289	423	5,4	100%	69%	--	0%	66%	39%	100%	0%	100%
25/08/15	694	602	0	0	210	283	244	0	260	2293	425	5,4	100%	70%	--	0%	66%	40%	100%	0%	100%
26/08/15	688	615	0	0	195	280	252	0	258	2287	463	4,9	100%	84%	--	0%	77%	64%	100%	0%	100%
27/08/15	680	624	225	0	143	182	257	0	167	2277	508	4,5	100%	99%	86%	0%	62%	88%	0%	0%	0%
28/08/15	676	617	625	0	0	0	256	0	0	2174	420	5,2	100%	96%	77%	0%	0%	86%	0%	0%	0%
29/08/15	682	616	626	0	0	0	257	0	0	2180	411	5,3	100%	91%	76%	0%	0%	76%	0%	0%	0%
30/08/15	680	621	633	0	0	0	258	0	0	2192	432	5,1	100%	99%	83%	0%	0%	81%	0%	0%	0%
31/08/15	680	615	623	0	0	0	254	0	0	2172	401	5,4	100%	91%	69%	0%	0%	65%	0%	0%	0%
01/09/15	685	606	614	0	0	0	249	0	0	2154	356	6,1	100%	74%	56%	0%	0%	50%	0%	0%	0%
02/09/15	689	601	610	0	0	0	247	3	0	2150	337	6,4	100%	67%	51%	0%	0%	44%	0%	0%	0%
03/09/15	689	600	609	0	0	0	248	0	0	2146	336	6,4	100%	66%	51%	0%	0%	45%	0%	0%	0%
04/09/15	689	593	595	0	0	0	241	0	0	2118	318	6,7	100%	63%	42%	0%	0%	36%	0%	0%	0%

05/09/15	694	592	593	0	0	0	239	0	0	2118	314	6,7	100%	61%	41%	0%	0%	34%	0%	0%	0%
06/09/15	693	589	600	0	0	0	244	0	0	2127	316	6,7	100%	58%	46%	0%	0%	41%	0%	0%	0%
07/09/15	694	590	598	0	0	0	241	0	0	2123	326	6,5	100%	63%	48%	0%	0%	39%	0%	0%	0%
08/09/15	692	589	592	0	0	0	237	0	0	2109	310	6,8	100%	59%	41%	0%	0%	33%	0%	0%	0%
09/09/15	695	590	598	0	0	0	219	0	0	2101	316	6,7	100%	59%	45%	0%	0%	33%	0%	0%	0%
10/09/15	694	595	604	0	53	0	112	47	0	2104	340	6,2	100%	64%	48%	0%	29%	17%	0%	0%	0%
11/09/15	691	595	603	0	144	0	0	0	0	2033	353	5,8	100%	63%	48%	0%	68%	0%	0%	0%	0%
12/09/15	688	591	598	0	143	0	0	0	0	2020	349	5,8	100%	62%	47%	0%	65%	0%	0%	0%	0%
13/09/15	694	590	600	0	143	0	0	0	0	2027	338	6,0	100%	58%	46%	0%	57%	0%	0%	0%	0%
14/09/15	693	587	595	0	142	0	0	2	0	2019	329	6,1	100%	56%	42%	0%	53%	0%	0%	0%	0%
15/09/15	689	594	602	0	142	0	0	0	0	2027	355	5,7	100%	64%	51%	0%	56%	0%	0%	0%	0%
16/09/15	681	601	608	0	144	0	0	0	0	2034	393	5,2	100%	74%	59%	0%	80%	0%	0%	0%	0%
17/09/15	697	581	587	0	140	0	0	0	0	2005	310	6,5	100%	51%	37%	0%	42%	0%	0%	0%	0%
18/09/15	700	598	606	0	116	0	0	0	0	2019	347	5,8	100%	64%	51%	0%	39%	0%	0%	0%	0%
19/09/15	698	586	595	0	141	0	0	0	0	2021	326	6,2	100%	55%	42%	0%	53%	0%	0%	0%	0%
20/09/15	696	589	597	0	142	0	0	0	0	2023	335	6,0	100%	57%	44%	0%	56%	0%	0%	0%	0%
21/09/15	697	604	613	0	50	0	0	0	0	1963	348	5,6	100%	67%	54%	0%	16%	0%	0%	0%	0%
22/09/15	695	610	619	0	0	0	0	0	0	1924	358	5,4	100%	74%	58%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
23/09/15	694	605	614	0	0	0	0	0	0	1913	347	5,5	100%	69%	55%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
24/09/15	698	599	609	0	0	0	0	0	0	1907	330	5,8	100%	63%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
25/09/15	696	602	611	0	0	0	0	0	0	1910	339	5,6	100%	66%	53%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
26/09/15	695	606	615	0	0	0	0	0	0	1915	345	5,6	100%	68%	55%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
27/09/15	699	605	614	0	0	0	0	0	0	1918	338	5,7	100%	65%	53%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
28/09/15	696	586	593	0	0	0	0	0	0	1875	303	6,2	100%	54%	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
29/09/15	691	577	585	0	0	0	0	0	0	1853	295	6,3	100%	52%	38%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
30/09/15	694	573	584	0	0	0	0	0	0	1851	288	6,4	100%	48%	37%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
01/10/15	697	581	593	0	0	0	0	0	0	1871	299	6,3	100%	52%	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
02/10/15	697	588	599	0	0	0	0	0	0	1884	308	6,1	100%	55%	43%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
03/10/15	697	585	597	0	0	0	0	0	0	1878	304	6,2	100%	54%	42%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
04/10/15	679	598	610	0	0	0	0	0	0	1886	359	5,3	100%	71%	62%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
05/10/15	681	598	612	0	0	0	0	0	0	1891	358	5,3	100%	70%	62%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
06/10/15	691	590	602	0	0	0	0	0	0	1883	321	5,9	100%	59%	47%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
07/10/15	703	589	601	0	0	0	0	0	0	1892	304	6,2	100%	55%	41%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
08/10/15	704	609	619	0	0	0	0	0	0	1932	353	5,5	100%	72%	56%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
09/10/15	699	626	636	0	0	0	0	0	0	1961	405	4,8	100%	87%	76%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10/10/15	689	629	640	0	0	0	0	0	0	1957	447	4,4	100%	100%	92%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
11/10/15	684	625	637	0	0	0	0	0	0	1946	455	4,3	100%	100%	97%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
12/10/15	685	625	634	0	0	0	0	0	0	1944	441	4,4	100%	99%	89%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
13/10/15	687	617	626	0	0	0	0	0	0	1930	390	4,9	100%	85%	69%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
14/10/15	697	603	612	0	0	0	0	0	0	1911	342	5,6	100%	68%	53%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

## Anexo J1 – Análise de propostas de substituição de compressores.

Compressores novos:	A	B		Compressores existentes:	ZH10000	C950	C100	C60_2	C21	
Caudal máximo		116	161 (m³/min)		161,76	162	112	60	62,9	(m³/min)
Caudal mínimo limite de modulação		96	137 (m³/min)							
Consumo específico		3,57	3,59 (kW/m³)		4,09	3,84	4,7	5	6,18	(kW/m³)
Potência ao veio		415	581 (kW)		6%	6%	12%	12%	12%	
					152,1	152,3	98,6	52,8	55,4	(m³/min)
					4,34	4,07	5,26	5,60	6,92	(kW/m³)
					660,0	592,0	480,0	270,0	340,0	(kW)
<b>Compressores a manter:</b>	C950	ZH 10000								
Caudal máximo corrigido		152	152 (m³/min)							

Instalação (situação atual):		Consumo específico
Caudal máximo	482 (m³/min) ZH10000; C950; C100; C60_2; C21	26,19 (kW/m³)
Caudal médio	366 (m³/min) ZH10000; C950; C100	13,67 (kW/m³)
Caudal mínimo	272 (m³/min) ZH10000; C950; C100	13,67 (kW/m³)

Simulação utilização compressores:	Mínimo	Médio	Máximo
Tipo de regulação/modulação	A+B	C950+A+B	C950+ZH10000+A+B
Caudal médio	277	429	581 (m³/min)
Caudal mínimo limite de modulação	233	385	537 (m³/min)
Consumo específico	7,16	11,23	15,57 (kW/m³)

	ZH+C950+C100	C950+A+B
Caudal máximo (m³/min)	402,9	429,28
Consumo (kW)	1732,00	1588,00
Caudal médio (m³/min)	366,00	366,00
Consumo (kW)	1573,39	1353,91
Consumo (kWh/ano)	13 782 939	11 860 283

<b>Poupança:</b>	
(kWh/ano)	1 922 657
(€/ano)	145 026,01 €

<b>Custos:</b>	
Compressor A	200 000,00 €
Compressor B	250 000,00 €
Total	450 000,00 €

**Payback simples :** 3,1 anos

## Anexo J2 – Análise de propostas de substituição de compressores.

<b>Compressores novos:</b>	<b>A</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>		<b>Compressores existentes:</b>					
Caudal máximo		116	161	161 (m³/min)		ZH10000	C950	C100	C60_2	C21
Caudal mínimo limite de modulação		96	137	137 (m³/min)	Caudal máximo	161,76	162	112	60	62,9 (m³/min)
Consumo específico		3,57	3,59	3,59 (kW/m³)	Consumo específico	4,09	3,84	4,7	5	6,18 (kW/m³)
Potência ao veio		415	581	581 (kW)	Perda de eficiência	6%	6%	12%	12%	12%
					Caudal corrigido	152,1	152,3	98,6	52,8	55,4 (m³/min)
<b>Compressores a manter:</b>	C950				C. específico corrigido	4,34	4,07	5,26	5,60	6,92 (kW/m³)
Caudal máximo corrigido		152 (m³/min)			Potência ao veio	660,0	592,0	480,0	270,0	340,0 (kW)
<b>Instalação (situação atual):</b>					<b>Consumo específico</b>					
Caudal máximo		482 (m³/min)	ZH10000; C950; C100; C60_2; C21		26,19 (kW/m³)					
Caudal médio		366 (m³/min)	ZH10000; C950; C100		13,67 (kW/m³)					
Caudal mínimo		272 (m³/min)	ZH10000; C950; C100		13,67 (kW/m³)					
<b>Simulação utilização compressores:</b>		Mínimo	Médio	Máximo						
Tipo de regulação/modulação		A+B1	A+B1+B2	C950+A+B1+B2						
Caudal máximo			277	438	590 (m³/min)					
Caudal mínimo limite de modulação			233	370	522 (m³/min)					
Consumo específico			7,16	10,75	14,82 (kW/m³)					
	<b>ZH+C950+C100</b>	<b>A+B1+B2</b>								
Caudal máximo (m³/min)	402,9	438,00			<b>Poupança:</b>					
Consumo (kW)	1732,00	1577,00			(kWh/ano)	2 239 299				
Caudal médio (m³/min)	366,00	366,00			(€/ano)	168 910,36 €				
Consumo (kW)	1573,39	1317,77			<b>Custos:</b>					
Consumo (kWh/ano)	13 782 939	11 543 640			Compressor A	200 000,00 €				
					Compressor B1	250 000,00 €				
					Compressor B2	250 000,00 €				
					Total	700 000,00 €				
					<b>Payback simples:</b>	4,14	anos			

Compressores novos:				Compressores existentes:						
A1	A2	B		ZH10000	C950	C100	C60_2	C21		
Caudal máximo	116	116	161 (m³/min)							
Caudal mínimo limite de modulação	96	96	137 (m³/min)	Caudal máximo	161,76	162	112	60	62,9 (m³/min)	
Consumo específico	3,57	3,57	3,59 (kW/m³)	Consumo específico	4,09	3,84	4,7	5	6,18 (kW/m³)	
Potência ao veio	415	415	581 (kW)	Perda de eficiência	6%	6%	12%	12%	12%	
				Caudal corrigido	152,1	152,3	98,6	52,8	55,4 (m³/min)	
Compressores a manter:	C950			C. específico corrigido	4,34	4,07	5,26	5,60	6,92 (kW/m³)	
Caudal máximo corrigido	152	(m³/min)		Potência ao veio	660,0	592,0	480,0	270,0	340,0 (kW)	

Simulação utilização compressores:	Mínimo	Médio	Máximo
Tipo de regulação/modulação	A1+A2	A1+A2+B	C950+A1+A2+B
Caudal máximo	232	393	545 (m³/min)
Caudal mínimo limite de modulação	192	329	481 (m³/min)
Consumo específico	7,14	10,73	14,80 (kW/m³)

<b>Poupança:</b>	
(kWh/ano)	2 271 764
(€/ano)	171 359,20 €
<b>Custos:</b>	
Compressor A	200 000,00 €
Compressor B1	250 000,00 €
Compressor B2	250 000,00 €
Total	700 000,00 €

104